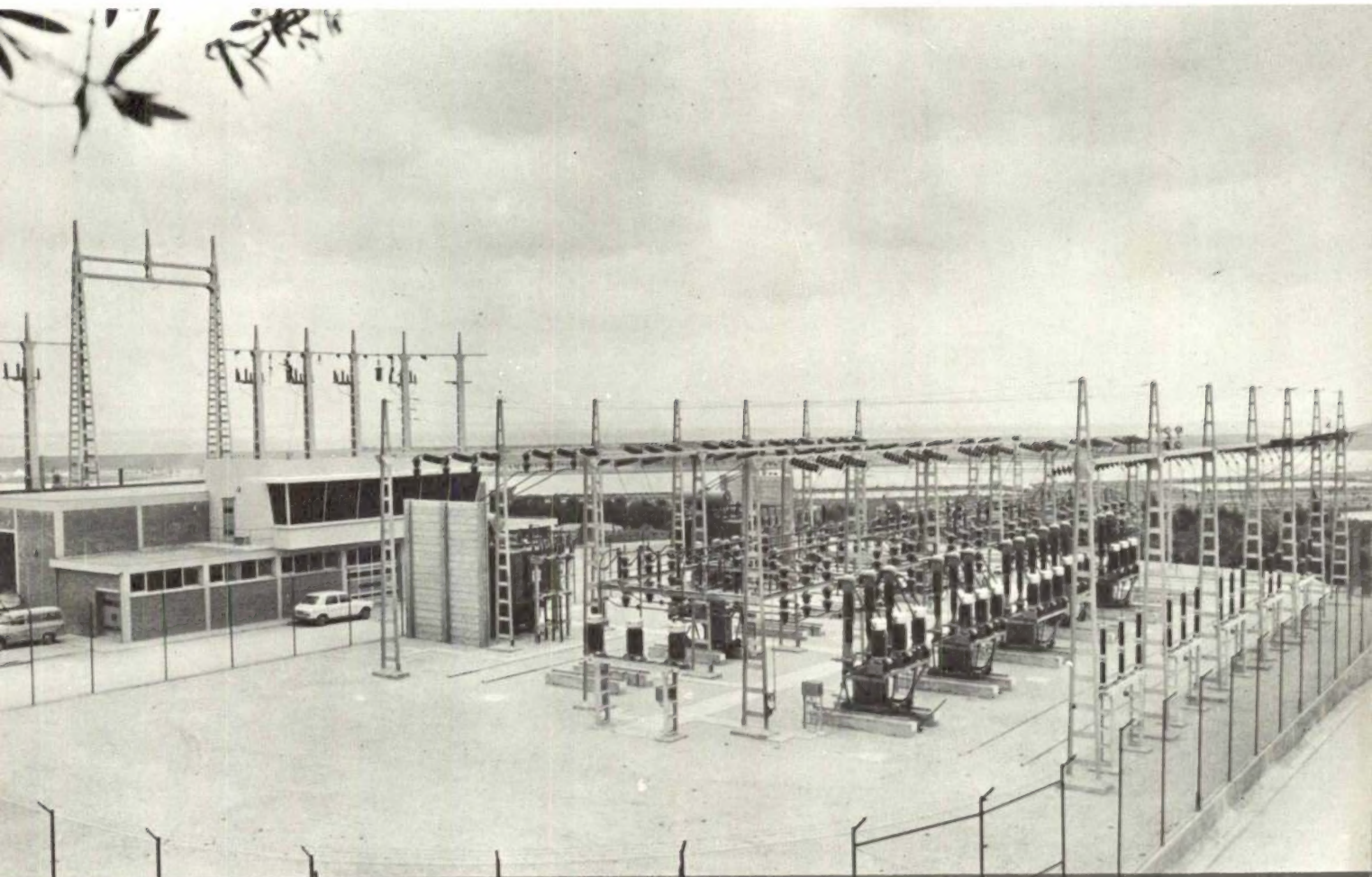
técnica



402 associação dos estudantes do instituto superior técnico
novembro 1970 revista de engenharia

VARÕES DE AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA PARA BETÃO ARMADO TIPO A. 40
(«Heliaço» e «SNT 40»)

TENSÕES DE SEGURANÇA
Ra = 2400 kg/cm²
e
Ra = 4000 kg/cm² (SISMOS)

Literatura e Tabelas de Cálculo fornecidas gratuitamente

HELIAÇO, LDA.

R. DE S. JULIÃO, 41, 4.º D. — LISBOA

Tel.: 36 78 17 - 32 37 06 - 36 94 77

REGINA-EXTRA
REX-REGINA

CORRENTES
para
indústria,
agricultura, etc.

AUTO-LUSITANIA
ALFREDO DUARTE, L.da
AVENIDA DA LIBERDADE, 73-77
LISBOA

UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA
S. A. R. L.

SEDE
Rua de Alexandre Herculano, 244 — PORTO
TELEFONES: 2 76 76/9 e 2 18 38

DELEGAÇÃO
Rua Rosa Araújo, 35 — LISBOA
TELEFONES: 53 11 81/7 e 53 33 33

•

ELECTRICIDADE DO LINDOSO

•

A UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA, S. A. R. L. distribui, pela mais extensa rede de alta tensão em Portugal, (cerca de 3 500 km) energia eléctrica em 70 concelhos, nos distritos de VIANA DO CASTELO, BRAGA, PORTO, AVEIRO, COIMBRA, VISEU, LEIRIA, SETÚBAL e ÉVORA.

CIMENTO SECIL

Fábrica:
Outão — Setúbal
Telef. 228824/5

Escritório:
R. do Comércio, 56-3.º
LISBOA 2
Telef. 328201/2/3

técnica

NÚMERO 402 NOVEMBRO DE 1970 ANO XLV VOLUME XXXIII PUBLICAÇÃO MENSAL

Director

Silvério de Sousa Mendes

Administrador

Vladimiro de Oliveira

Secretário

Raul Pereira da Costa

Chefe de Redacção

Guilherme Arroz

Redactores

Alvaro Manuel Cortez
Antonio Mouraz
Francisco Toco Emílio
José de Oliveira Paulo
Rui Lopes dos Santos

Assinaturas

		5 Nos.	10 Nos.
Continente e ilhas	—	85$00	160$00
Ultramar, Brasil e Espanha	—	95$00	170$00
Estrangeiro	—		180$00

Número avulso — 25$00

Não se publica em Agosto e Setembro.

Os artigos assinados são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.

Composto e impresso na Tipografia Jorge Fernandes, Lda. — Rua da Cruz dos Poiais 103 — Lisboa

SUMÁRIO

57 *M. MONTEIRO DE BARROS* — **A gestão por «ratios»: um exemplo de aplicação ao dimensionamento actual dos quadros nas empresas de construção.**
A management by «Ratios»: an application to the dimension of the technical staff in the contractors structures.

65 *A. M. MARRECAS* — **Equações adimensionais da fonte móvel.**
Dimensionless equations for moving heat sources.

67 *DUARTE-RAMOS* — **Aplicação do método de redução a uma base arbitrária no cálculo de redes eléctricas.**
The applications of the per unit method in electrical network calculations.

77 *BRASÃO FARINHA* — **Arco parabólico simétrico de espessura variável $I_x \cos \varphi = I_0$.**
Symetrical parabolic archs variable thickness $I_x \cos \varphi = I_0$.

97 *J. SARAFANA* — **Tratamento de água com carvão activado.**
Water treatmente with activated carbon.

111 **Bibliografia**

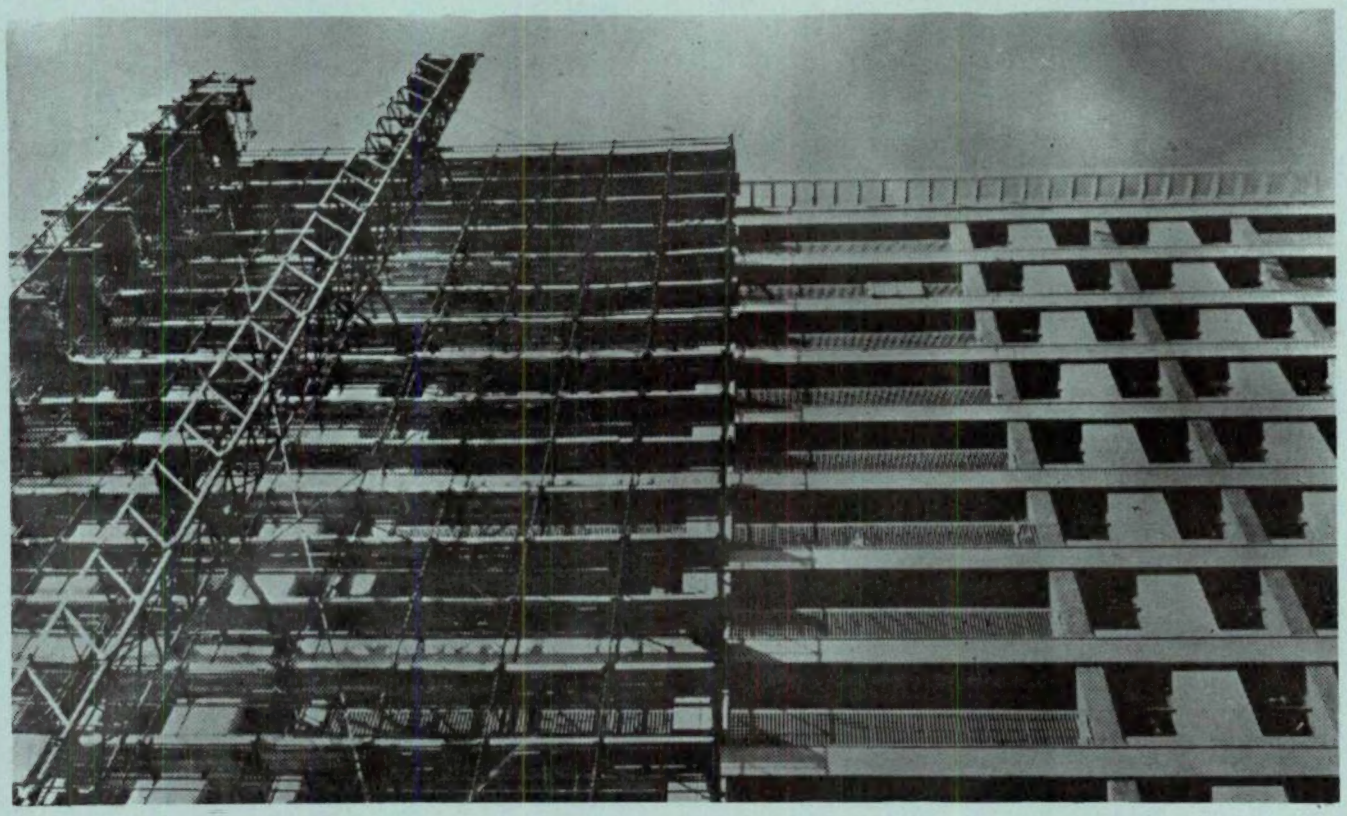
CAPA: Posto exterior de 60 kV da Sub-estação da Póvoa das C.R.G.E — 60/30 kV, 2 × 30 MVA.

ÍNDICE ALFABÉTICO DOS ANUNCIANTES

	Pág.
A. Johnson & Co (Portugal), Ltd.	XXXII
Aguiar & Melo, Lda.	XXXIII
Auto-Lusitânia	2.ª da capa
Atlas-Copco	XXVI
Bayer	XV
Cimento Secil	2.ª da capa
Companhia de Cimentos Brancos	VI
Cometna	XXVII
Construções Técnicas	XVII
Construções Schréder	XX
Electrotécnicos Reunidos	XXV
Electro-Arco, Lda.	II
Empresa de Cimentos de Leiria	XXXIV
Empresa Electro Cerâmica	XXIX
Empresa de Produtos Asfálticos	X
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Lda.	3.ª da capa
Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos	XI
Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações	XVI
Engil	XXXI
Fanafel	XVI
Fundações Franki, Lda.	I
Guedes & Almeida, Lda.	VIII e XXXIII
Harker Sumner	XXVIII
Heliaço	2.ª da capa
Hoesch Portuguesa	XXVII
Isola	XXV
Isolux	XXXIII
Jayme da Costa, Lda.	XIX
Johann Keller	XXXVI
J. F. Azevedo e Silva	VII
J. Roma	XXXVI
Jomatel	XXXV
Livros Técnicos	V e XXXVI
MAGUE	XIII
Mendes de Almeida, S. A. R. L.	XXI
Míele Portuguesa	XXX
Novobra, Lda.	V
Plessey Automática Eléctrica Portuguesa	IV
Philips Portuguesa	XXIV
Sepsa	XIV
Siemens	XII
Soc. Electricidade Brown Boveri	4.ª da capa
Soc. Amadeu Gaudêncio	XXIX
Soc. Industrial Metalúrgica	XXIX
Soc. Port. do Ar Líquido	XXXV
Sociedade Portuguesa Cavan	VI
S. K. F. Lda.	XXII
Sondagens e Fundações A. Cavaco	II
Sondagens Ródio, Lda.	V
Sopecate	II
Standard Eléctrica	IX
Tudor	XXIII
União Eléctrica Portuguesa	2.ª da capa
Wild Portugal, Lda.	III

espiral

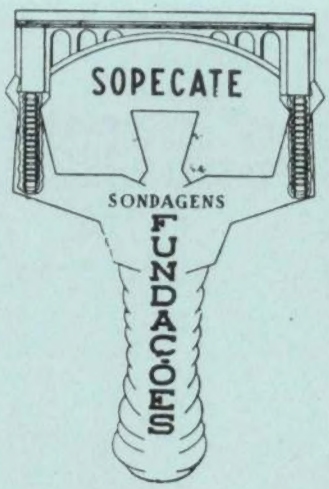
na base da construção moderna: estacas FRANKI, moldadas no solo.



A elevada gama de diâmetros das estacas Franki permite a melhor adaptação a cada problema concreto de fundações, desde a construção mais ligeira até à de grande concentração de cargas muito elevadas. Material permanentemente actualizado e pessoal com especialização constantemente aprofundada garantem a segurança, rapidez e economia das fundações executadas.

FRANKI

Consulte-nos: FUNDAÇÕES FRANKI, LDA. — PORTUGAL



sopecate

sondagens - fundações

ESCRITÓRIO: RUA DO ARSENAL 146 2.º TELEFONES 3 40 10 - 32 02 08 LISBOA

• ESTUDOS, PESQUISAS E CAPTAÇÕES DE ÁGUA

• SONDAGENS

• REBAIXAMENTO DE NÍVEIS AQUÍFEROS

• FUNDAÇÕES

SONDAGENS E FUNDAÇÕES A. CAVACO, LDA.

R. RODRIGO DA FONSECA, 62, R C ESQ. — LISBOA - 1
- TELEF. 56 11 71/72/73

ELECTRO-ARCO, L.DA

ELÉCTRODOS ✦ POSTOS ✦ ACESSÓRIOS
PARA A SOLDADURA ELÉCTRICA

*

MATERIAL APROVADO PELOS
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING
BUREAU VERITAS
GERMANISCHER LLOYD

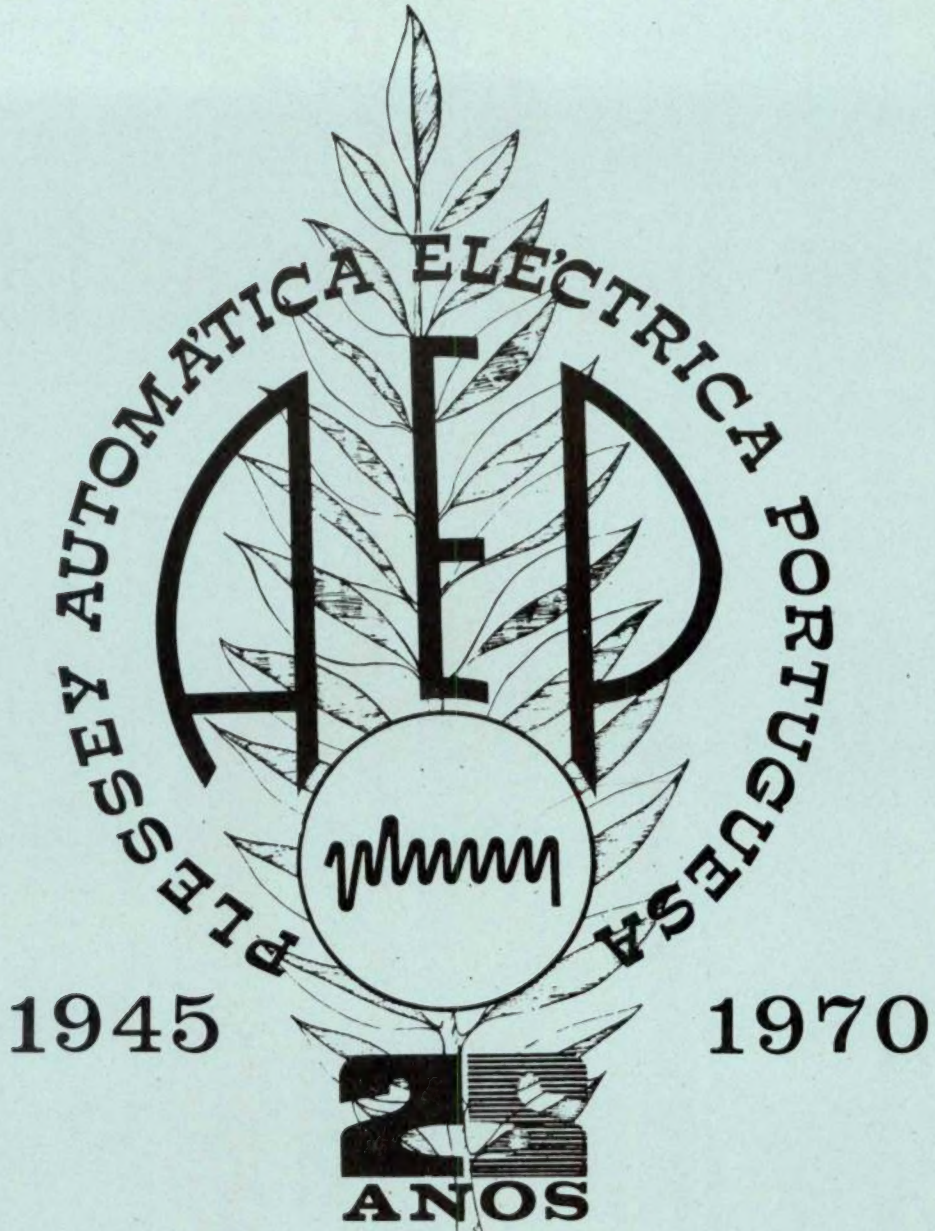
—

LISBOA
Rua Silva Carvalho, 239
Tels. 68 36 49 - 68 48 93

FÁBRICA E LABORATÓRIOS
Venda Nova — Amadora
Tels. 97 06 13 - 97 17 33

PORTO
Rua do Bolhão, 216
Tel. 2 12 77 - 39 44 73

Temos apenas uma qualidade:
Primeira.
WILD
HEERBRUGG
SWISS
Os estojos de desenho WILD são confeccionados de aço crómio polido inoxidável.
Isto significa precisão, mesmo após uso de longos anos.
Um exemplo da mais alta perfeição: O traçado direito e preciso do compasso WILD. O mesmo possibilita um trabalho seguro. A posição do ângulo pode ser fixada com rapidez e segurança sem a mínima folga nas pernas do compasso.
A aplicação de materiais sòmente da melhor qualidade e o máximo cuidado no acabamento, justificam a reputação mundial de primeira qualidade, Made in Heerbrugg.
WILD
HEERBRUGG
Aparelhos para Fotogrametria
Aparelhos topográficos
Microscópios



AO SERVIÇO DAS TELECOMUNICAÇÕES

fabricantes de:

telefones de vários tipos • estações automáticas completas STROWGER e CROSSBAR • equipamento de TELEX • comutadores manuais • PPC (PBX), CAP (PAX) e PPCA (PABX) • memórias magnéticas para computadores electrónicos •••••

Dimensionamento de Secções de Betão Armado em Relação à Rotura

Matérias

— Flexão simples de secções rectangulares simplesmente armadas
— Flexão simples de secções rectangulares duplamente armadas
a) com armadura de compressão reduzida
b) com armadura de tracção reduzida
— Flexão simples de secções T duplamente armadas
— Flexão simples de secções T duplamente armadas
— Compressão simples
— Flexão composta de secções rectangulares
a) com armadura simétrica
b) com armadura de tracção reduzida
c) com armadura de compressão reduzida
— Flexão composta desviada de secções rectangulares
— Flexão composta de secções em T
a) com armadura de tracção reduzida
b) comarmadura de compressão reduzida
— Flexão simples e flexão composta de secções circulares cheias
— Flexão simples e flexão composta de secções circulares ocas
— Esforço transverso

Preço 150$00

Dimensionamento de Secções Circulares de Betão Armado em Relação à Rotura

Matérias

— Flexão simples e flexão composta de secções circulares cheias
— Flexão simples e flexão composta de secções circulares ocas

Preço 60$00

Por J. M. MADEIRA COSTA

ENG.º CIVIL

À venda na TÉCNICA e nas LIVRARIAS

10.000 obras realizadas

- coberturas
- perfis especiais
- vigas pré-esforçadas
- pavimento trief
- protecção de segurança
- mosaicos
- tubos

materiais novobra

PAVIMENTOS

EM BETÃO PRÉ-ESFORÇADOS (HOMOLOGADOS PELO LAB. NAC. DE ENGENHARIA CIVIL)

LEIRIA — PONTE DAS MESTRAS — TEL. 2 37 68

LISBOA — AV. EST. UNIDOS DA AMERICA, 100, 5.º, Dto — TEL. 77 16 03 - 77 48 32

LAGOA — ESTRADA DO CARMO — TEL. 94

SONDAGENS RODIO, LDA.

R. S. Bento, 644 - 3.º
LISBOA

TELEFONE: 68 80 96

PORTO
LUANDA
BEIRA

SONDAGENS GEOLÓGICAS
ESTUDOS GEOTÉCNICOS
CONSOLIDAÇÃO DE FUNDAÇÕES
ESTACAS
PAREDES CONTÍNUAS
IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS HIDRÁULICAS
CAPTAÇÃO DE ÁGUAS

RODIO

O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

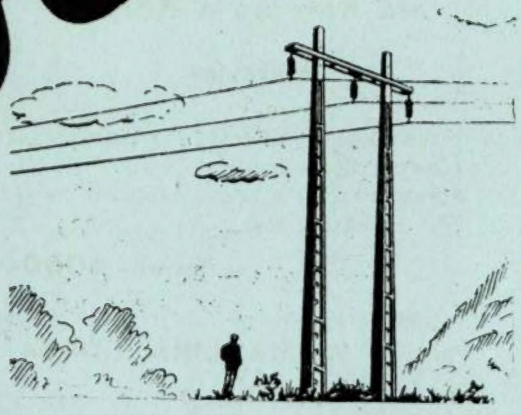
CIMENTO BRANCO LUSO

Consulte os distribuidores gerais

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 32 73 77 — Lisboa
No Norte: **SCIAL** — R. do Bonjardim, 205 — Telef. 2 5779 — Porto

POSTES DE BETÃO PARA LINHAS ELÉCTRICAS
MOSAICOS E AZULEJOS
COLUNAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA
MANILHAS PARA ESGOTOS

SOCIEDADE PORTUGUESA **Carvam**



RUA D. ESTEFÂNIA, 94-A-LISBOA-1 - TELEF. 47812-50129

Ímpar

JF

Projectou e executou a instalação eléctrica de iluminação na nova dependência do

BANCO
pinto de magalhães

equipando todas as armaduras com lâmpadas especiais tom de luz ÓPTIMA*

DURO TEST®

* reprodução cromàtica da luz da natureza

JF J. F. DE AZEVEDO E SILVA & C.ª, L.DA
Rua S. Francisco de Sales, 2 — Telefone 65 41 65 — Lisboa 1

WABCO

WESTINGHOUSE
AIR BRAKE COMPANY

Construction Equipment Division
Peoria (Illinois) 61601

MOTO-SCRAPERS AUTO-CARREGADORES

CAPACIDADE DE 11, 21 E 31 JARDAS CÚBICAS

NÃO NECESSITA DE TRACTOR PARA EMPURRE!
UMA SÓ MÁQUINA... UM SÓ OPERADOR...

Escarifica... Carrega... Transporta... Descarrega... Em terrenos de toda a natureza!

DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO

GUEDES & ALMEIDA LDA.

Rua Áurea, 181-2.º — LISBOA-2 — TELEFS. 32 50 80 e 32 78 45

A STANDARD ELÉCTRICA PROJECTA-SE NO MUNDO

Na vanguarda da indústria das Telecomunicações e Electrónica, a Standard Electrica, dimensionada ao âmbito mundial, ocupa uma prestigiosa posição nos mercados estrangeiros. A eficiência de uma administração actualizada, a capacidade técnica dos seus engenheiros e o profissionalismo com que todos os empregados encaram as suas responsabilidades, são valores reais e positivos que, de maneira decisiva, contribuem para o engrandecimento da Standard Eléctrica e da indústria nacional. Associada da International Telephone and Telegraph Corporation, um conjunto mundial com cerca de 200 fábricas localizadas em mais de 60 países, a Standard Eléctrica fabrica numerosos produtos, desde os minúsculos transistores e circuitos integrados às grandes centrais telefónicas de serviço público, que são exportados para mais de 30 países entre os quais se destacam: Inglaterra, França, Alemanha, Espanha, Suécia, África do Sul, Brasil e Estados Unidos da América do Norte.

Standard Eléctrica

ITT

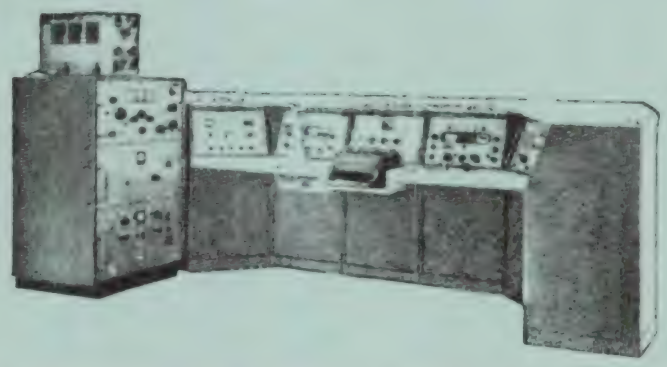
TG

PARA COLAGEM DE TACOS DE MADEIRA USE:

Também próprio para impermeabilizar terrenos, paredes, fundações, etc.

FÁBRICA EM SACAVÉM

RUA FILIPE FOLQUE-10 1º— LISBOA
TELEF. 53 01 56 —TELEG. EPALDA-LISBOA



Comunicações

equipamentos
e sistemas completos

- Cuidadosamente projectados
- Amplamente experimentados
- Completamente integrados

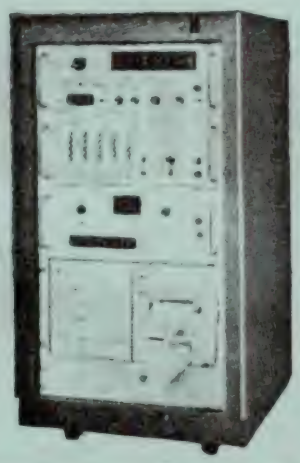
THE TECHNICAL MATERIEL CORPORATION

HEWLETT hp PACKARD

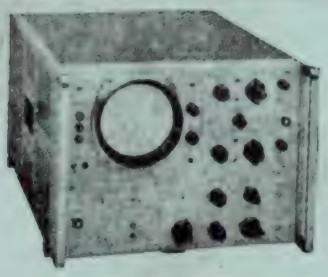
aparelhagem electrónica de medida e registo

Osciloscópios, Oscilógrafos, Voltímetros electrónicos, Geradores de sinal, Contadores electrónicos, Registadores digitais, Fontes de alimentação

Registador digital Dymec



Registador Sanborn



Osciloscópio HP

Contador Electrónico HP

TELECTRA EMPRESA TECNICA DE EQUIPAMENTOS ELECTRICOS, S.A.R.L.

SIEMENS

1 10 69

Disjuntor superestreito tipo W

Apenas 17,5 mm de largura

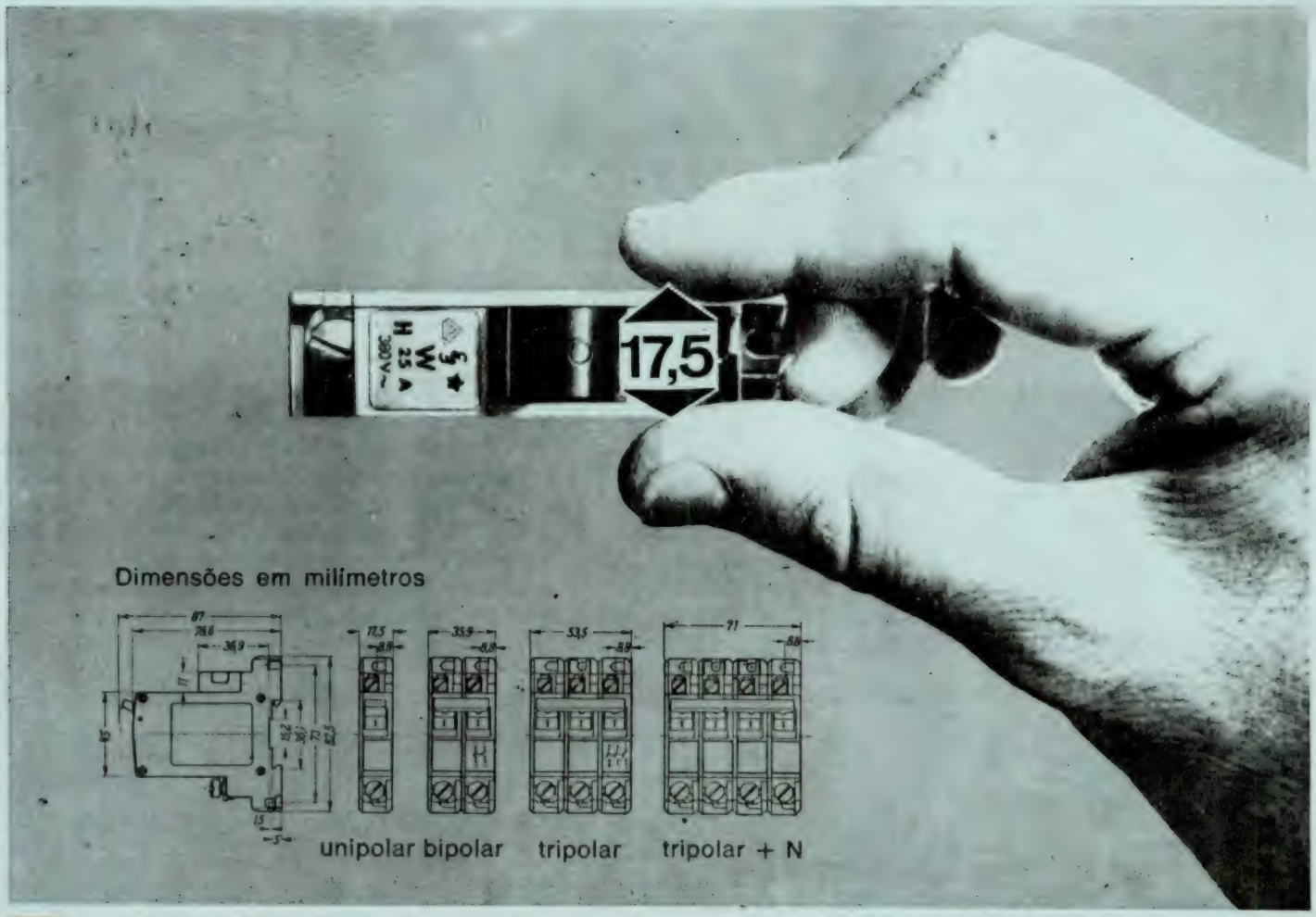
Elevado poder de corte

Disparo eléctrico e electromagnético

Indicação clara da posição de serviço

Montagem rápida por fixação de mola ou fixação convencional sobre qualquer base

Combinações variadíssimas com aparelhagem de medidas normalizadas Siemens



Material de instalação Siemens

SIEMENS - COMPANHIA DE ELECTRICIDADE, S. A. R. L.

LISBOA-1: AVENIDA ALMIRANTE REIS, 65 — TEL. 53 69 21 PORTO: RUA DAS CARMELITAS, 26 - 2.º — TEL. 2 89 43

TECNICA XII

técnica

NÚMERO 402 NOVEMBRO DE 1970 ANO XLVI VOLUME XXXIII PUBLICAÇÃO MENSAL

C. D. U. 65 : 378.962
65.012.65 : 658.3 [69]

A GESTÃO POR "RATIOS": UM EXEMPLO DE APLICAÇÃO AO DIMENSIONAMENTO ACTUAL DOS QUADROS NAS EMPRESAS DE CONSTRUÇÃO

por MANUEL JOAQUIM MONTEIRO DE BARROS
Engenheiro Civil (I. S. T.)

RESUMO

Advoga-se a necessidade dos conhecimentos de «management» nos cursos técnicos das nossas escolas. Apresenta-se uma breve introdução à «comparação entre empresas» como moderno método de gestão, aplicado como exemplo ao dimensionamento dos quadros das firmas construtoras na actual fase de industrialização.

SYNOPSIS

The need of knowledge about «management» is defended for the programs of our technical schools. As an exemple, a brief introduction is done to the «comparison among firms» as a modern method of management, with an application to the problem of the dimension of the staff in the contractors structures during the present trends to industrialisation.

Já no recente «Colóquio da Indústria da Construção» tive oportunidade para chamar a atenção dos industriais e dos representantes dos Poderes Públicos para o facto paradoxal de que, sendo os técnicos hoje em dia os agentes mais condicionantes do desenvolvimento económico em todos os países, entre nós, a preparação escolar respectiva se processar no sentido do ensino das técnicas puras, sem as relacionar com os aspectos da correspondente valorização, e portanto sem bases para orientarem as constantes opções a que, como futuros profissionais, irão dedicar a sua actividade, numa permanente subordinação aos imperativos económicos.

De facto, no tocante à organização do trabalho, técnicas de planeamento e valorização de obras, controlo de produtividade, economia técnica e gestão empresarial, nada, que eu tenha conhecimento, se professa actualmente no nosso País a qualquer nível, quando tais assuntos são já matéria habitual de disciplinas próprias em escolas estrangeiras. Os profissionais da minha geração — e pelo menos os de todas as que a antecederam —, foram lançados na vida prática sem sequer serem iniciados nas simples normas com que se organizam os orçamentos.

E lembrarmo-nos nós que a construção é uma actividade que representa em Portugal uma quota parte de 64 % da formação bruta do capital fixo, e que os técnicos são, ou deviam ser, os elementos mais dinamizadores dessa actividade económica... !

Numa época em que tanto se discute sobre a revisão dos programas e dos métodos pedagógicos, também é, julgo eu, paradoxal que se não tenha falado, pelo menos com devido relevo, de tão grave lacuna, entre tantas críticas feitas ao nosso ensino, e em particular, ao das escolas técnicas.

Ora os assuntos relacionados com as técnicas do «management» na construção, até mesmo numa reunião internacional de representantes de institutos técnicos de investigação (*) — naturalmente mais votados às experiências laboratoriais e à especulação das questões teóricas — foram considerados com prioridade, inclusivé na actividade desses mesmos organismos, e tendo em conta a importância daqueles assuntos adentro das economias nacionais.

Julguei por tudo isto, dever complementar assim aquelas minhas observações dirigidas a governantes e empresários, com um apelo semelhante para o próprio meio escolar e com um exemplo simples, mas elucidativo, quanto ao género e importância desses assuntos; e certamente tinham de ser as páginas da «Técnica», como conceituada revista de estudantes de engenharia da escola que eu próprio frequentei, o meio ideal para este efeito.

1 — A INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO E A ESTRUTURA DA EMPRESA

A actual tendência para a industrialização da construção, já normalmente aceite como consequência fatal da subida dos encargos com a mão-de-obra e da melhoria do nível da população, atrai mais directamente a nossa atenção para o maior volume de equipamentos utilizados, algumas vezes para as mutações técnicas daí resultantes, mais raramente para os aspectos de organização interna que lhe são imprescindíveis, e quase nunca para as alterações estruturais a que obriga as empresas.

É a este último aspecto que me proponho dedicar as páginas que se seguem, já pela actualidade dessa mesma tendência para a industrialização, já pela não menor actualidade das carências nacionais em técnicos e das dificuldades em organizar, nas empresas, quadros *objectivamente* bem dimensionados às respectivas actividades.

É evidente que, tendo como finalidade única a realização de um conjunto de operações no local de trabalho — no estaleiro — ou em estaleiros, situados muito variàvelmente, a actividade de uma empresa da construção tradicional, com os aspectos aleatórios da sua ocupação, tem, por um lado, necessidade de um núcleo, de onde possa comandar todas essas actividades, nele concentrando a sua gestão administrativa, mas, pelo outro, tem vantagem em reduzir a um mínimo a importância desse núcleo central. Procede assim a uma completa delegação de poderes relativos a cada estaleiro num só elemento, o qual, para além dos contactos mais ou menos frequentes com a gerência para informação desta quanto à evolução da obra, quase só necessita do «núcleo central» da sua empresa para o envio do numerário imprescindível ao pagamento dos salários e para o processamento das facturas relativas aos materiais e máquinas que vai utilizando. Recrutamento, admissão, ou dispensa de pessoal com a correspondente fixação de salários; ajuste de preços e datas de entrega na aquisição de materiais e aluguer de máquinas; contactos quotidianos com a fiscalização, tanto para interpretações ou adaptações, mais ou menos profundas, nos projectos da obra, como para elaboração das situações mensais e sua facturação; programação geral da obra e das diversas tarefas que a compõem; assistência, conservação e gestão do equipamento e ferramentas próprias; organização do trabalho, disciplina do pessoal; controlo de qualidade, controlo de produtividade e controlo do avanço da obra — tudo lhe diz respeito e a tudo tem de atender.

Ao passar do prédio isolado a um volume de obra mais significativo, já não será o «encarregado», com as características que correntemente nele se espera encontrar, o elemento indicado para uma tal chefia, passando a necessitar-se de um técnico mais qualificado. Se, todavia, aumentarmos ainda, não só o volume mas o ritmo do trabalho — como é o caso na tal tendência para a industrialização — já a questão se não põe simplesmente na qualificação do técnico dirigente.

O volume, a importância, e a diversidade dos problemas que se lhe irão pôr no dia a dia, serão de tal ordem, que, ou o obrigam à organização de um conjunto local de serviços cada vez mais complexos — com tendências para uma «subempresa» — ou ficará submergido pela avalanche das

(*) International Building Research Congress — Melbourne — 1967.

dificuldades a vencer, com imediatas consequências no ritmo de execução, na produtividade, na qualidade da obra, e até, no ambiente do estaleiro e nas relações com a fiscalização. Como tal se passará em todos ou numa maioria dos estaleiros de cada empresa, a natural solução será o alargamento do seu «núcleo central», por forma a apoiar mais largamente cada um dos chefes de estaleiro, evitando a formação das tais «subempresas», e com melhor aproveitamento do pessoal que, para elas, seria necessário. O chefe de estaleiro ficará gradualmente aliviado de uma quota parte, mais ou menos volumosa, das tarefas atrás enunciadas, concentrando-se naturalmente naquelas que mais implicam comando e controlo, e assim são mais consentâneas com a posição de chefia que lhe corresponde.

Surge assim, em paralelo com as funções nitidamente *executivas*, como são as dos arvorados, dos encarregados, dos chefes de estaleiro, etc., um outro tipo de colaborações, igualmente essenciais, com larga influência na evolução da obra, mas sem sobre ela terem autoridade, nem por outro lado dependerem completamente da mesma hierarquia. São os serviços que podemos designar por *funcionais*.

De resto, a evolução que aponto, não sendo teoria pura como bem compreenderão todos os que se dedicam a este tipo de actividade, não poderia ser específica da construção se nela realmente se verificam progressos no sentido de uma verdadeira indústria: vamos encontrar, de facto, nos mais recentes e celebrados trabalhos acerca da organização das modernas empresas industriais, ([1]) referências a uma nítida tendência para o desenvolvimento desses serviços funcionais (ou de «staff» como se lhes chama na topografia dos organigramas) no tipo de estruturas mais evoluído.

Necessàriamente, que, em cada um desses «serviços funcionais» se localizam os diferentes géneros de tarefas acessórias da produção que, na estrutura tradicional das empresas da construção, estavam conjuntamente consignadas à hierarquia dessa mesma produção, preocupando todos os seus dirigentes desde o encarregado ao director, embora, naturalmente, com responsabilidade gradualmente generalizada. Esta tendência, portanto, caracteriza-se também por *uma especialização* de funções, no que continua a confirmar-se como uma gradual industrialização.

Todavia, começam assim a engrossar os quadros efectivos das empresas em relação ao tal núcleo inicial e, — o que é muitíssimo mais importante — as simples relações de depêndencia entre ele e cada um dos locais de trabalho, são substituídas por um tipo de estrutura muito mais complexa adentro da sede da empresa e fora dela, exigindo comunicações directas entre os vários sectores aos diversos níveis, e implicando problemas de coordenação bastante delicados, com a consequente dificuldade em definir causas e responsabilidades dos eventuais desvios em relação às programações. Também Octave Gelinier assinala a fatal tendência à burocratização que tais circunstâncias implicam (pág. 100 da obra citada).

Em contrapartida, este empolamento de quadros, *quando equilibrado e harmónico*, corresponde a uma expansão da empresa nas suas potêncialidades e no seu sincronismo e, portanto, a uma melhoria do valor da sua facturação anual e da respectiva produtividade. Não esqueçamos que os grandes dirigentes sempre consideraram o potencial humano das empresas, quando bem aproveitado, como o seu capital mais reprodutivo, e que os meios são um natural condicionante dos resultados.

II — A LEI DE PARKINSON

Todavia, para aquela equilibragem, somos aqui levados a comentar um fenómeno característico na fisiologia das empresas, habitualmente apontado na abundante bibliografia, mais ou menos válida, que explora a actualidade desses assuntos, e designado por «Lei de Parkinson»: «É corrente verificar-se que as tarefas tendem a dilatar-se por forma a preencherem todo o tempo disponível para a sua realização. E é evidente que pode chegar-se a uma relação mínima ou nula entre o volume de trabalho

([1]) «La France et le management» — Roger Priouret — Denoël 1968 — pag. 109.
«Le secret des structures competitives» — Octave Gelinier — Hommes et Techniques — 1966 pag 37 — n.º 14

a realizar e o número de pessoas nele utilizadas. As duas forças motrizes deste fenómeno são as seguintes:

— um chefe de serviços tem tendência a fazer crescer o número dos seus subordinados que lhe não façam sombra: daí a lei de multiplicação dos subordinados
— os empregados criam trabalho uns aos outros: daí a lei de multiplicação do trabalho.

Desde 1914 até 1928 o número de navios de linha em serviço na Royal Navy diminuiu de 67 %. Durante o mesmo período o número de funcionários do Almirantado aumentou de 79 %.

O aumento dos efectivos do pessoal administrativo realiza-se segundo um ritmo que não tem relação com o volume das «actividades a gerir».

Gelinier afirma que a «mania da perfeição» é, em geral, tanto nas empresas privadas como na Administração Pública, uma causa frequente de proliferação parkinsoniana: se se pretende que uma organização seja perfeita, que todos os problemas sejam integralmente resolvidos, que cada função útil seja correctamente desempenhada e com toda a qualificação lògicamente desejável, que toda a gente esteja informada de todos os assuntos, não haverá limites para a inflacção dos efectivos. E conclui que tal fenómeno, quer quanto à extensão das tarefas, quer quanto ao número de pessoas para as realizarem, tem tendência a manifestar-se *sempre que a actividade correspondente se liberta de quaisquer pressões económicas.* Por isso compara a Lei de Parkinson à da expansão dos gases nos recipientes fechados, em que o gás corresponde ao tempo de execução, ou ao custo, ou ao esforço necessário à realização de uma tarefa, e o recipiente aos limites que lhe sejam impostos. A tensão do gás, ou seja a pressão das paredes do recipiente, assimila-se à tal pressão económica do meio exterior.

Daí se concluirá que, num meio de livre concorrência o fenómeno parkinsoniano só rara e transitòriamente se manifesta, para ser de novo dominado, visto que, a prolongar-se mais, logo desapareceria com a empresa à qual essa manifestação arrastava à falência.

III — EXPANSÃO OU DECADÊNCIA?

Perante a fatalidade da transformação de estruturas a que uma empresa se sujeita em curso de industrialização, e o consequente e necessário empolamento dos quadros, surge então, em face da advertência parkinsoniana, um dilema grave a que os seus dirigentes estão permanentemente sujeitos: serão de facto escassos os seus quadros, como lhe afirmam os responsáveis dos serviços, invocando as consequências daí derivadas, tanto para o volume da produção e para a produtividade de cada um dos sectores como para os da empresa em globo, ou estará pelo contrário, como lhe afirma o guarda-livros, no plano inclinado da inflacção vertiginosa das despesas gerais? Como obter a justa medida?

«Administrar, além do mais, é a arte de reduzir despesas fixas». É esta uma atitude extrema, aliás ilógica, por exemplo perante situações como as que atrás aponto relativamente à actual industrialização.

Nestes termos precisos, aquela máxima sentenciosa, como que extraída de um manual de economia doméstica, corresponderá mais ou menos, no campo da higiene física, a afirmar que, para manter a saúde, é necessário cumprir, permanentemente, uma dieta de emagrecimento, sem ter em conta o peso, a estatura e a actividade do indivíduo em causa. E, no entanto, afirmações como aquela escrevem-se e publicam-se na tal bibliografia de divulgação; passam a conformar ideias que, por sua vez, vão determinar critérios e condicionar resoluções.

E abro aqui um parêntesis a fim de chamar a atenção para outro aspecto dos inconvenientes da ausência de preparação escolar no domínio da gestão empresarial: para além da carência de profissionais especializados, dá origem a uma generalização de conceitos, porventura deficientes ou mal interpretados, e cria as condições para a geração dos pseudo-peritos. Que seria, por exemplo, da medicina sem médicos oficialmente preparados, credenciados, obrigados a uma ética profissional?

Todos nós, e aliás sem culpa própria mas por força das necessidades, teríamos que nos socorrer do que lemos em tal artigo divulgação, ou do que ouvimos em tal conversa a um padecente dos mesmos males, e alguns mais audazes, seriam os mais escutados.

Por outro lado a não menos livresca recomendação quanto à enumeração e regulamentação das funções a desempenhar pelos diversos sectores e cargos das empresas, vai dar lugar, não só a uma rigidez da sua estrutura — naturalmente contrária à sua essência evolutiva —, mas também à descoberta, exactamente dentro da tendência de Parkinson, de um sempre crescente número de postos de trabalho a preencher, em face da importância sempre controversa de cada tarefa, e da sua possível multiplicação por subdivisões.

E falta a todos esses critérios, além do mais, o apoio do tal «saber de experiência feito»...

Qual então a solução a adoptar?

Poder-se-á pôr a questão, portanto, em saber se é por atingirem elevados níveis de facturação que certas empresas se permitem uma maior largueza de quadros e de meios de acção, se pelo contrário, é essa mesma largueza que lhes possibilita atingirem aqueles níveis de facturação, e em que medida tal se verifica.

IV — UMA APLICAÇÃO DA GESTÃO POR «RATIOS»

O espírito humano é, na realidade, incapaz de fazer juízos em absoluto: não raciocina senão por comparação. Não tem censo, por isso, afirmar-se que é excessiva ou reduzida, uma certa dimensão, se não a referirmos a um padrão.

Assim, e utilizando, mais uma vez, o paralelismo com as práticas da ciência médica — até porque a textura de uma empresa tem algo de semelhante à do tecido orgânico —, há, em primeiro lugar, que relacionar com os elementos físicos mais característicos do indivíduo, os parâmetros relativos às diversas funções do seu organismo, *e escolher, dessas relações ou índices, os mais significativos.* É também com tal base que tantas vezes os medicamentos e a própria alimentação são doseados em fnução do peso do paciente.

Como segundo princípio basilar, há que estabelecer por via estatística, *uma noção de normalidade* relativamente aos valores de cada um desses índices.

É com esse critério que o médico estabelece, por exemplo, a vigilância relativa à albumina do doente, procurando mantê-la entre os 80 e 120 mg por litro de sangue.

É assim também que, em França e noutros países da Europa, algumas associações patronais têm levado a cabo inquéritos entre os seus aderentes, obtendo deles, com as necessárias garantias de confidencialidade, os dados relativos a todos os aspectos da sua actividade ([2]), os quais são classificados também consoante a dimensão da empresa, a sua especialização, o tipo da sua estrutura ou do seu equipamento, etc., e por forma que, no mesmo grupo de elementos relativos a cada um desses aspectos, sejam razoàvelmente comparáveis os valores reunidos. É assim possível determinar, para cada um, um valor médio ponderado, um valor máximo absoluto, um valor mínimo absoluto, e, se se pretender, uma zona média mais favorável, abrangendo, por exemplo, o terço central dos dados recolhidos ([3]). Desta forma se podem deduzir, com suficiente objectividade, *padrões de normalidade* a utilizar com certa generalidade para o mesmo género de actividades, se relacionados com os parâmetros definidores da empresa. Para tais parâmetros, usam-se mais frequentemente o volume da produção anual, em unidades produzidas ou unidades físicas, ou ainda o respectivo valor de facturação, uma vez que o custo correspondente — com maior expressão por vir liberto das flutuações da

---

([2]) — Ver por exemplo «Etude comparative inter-entrepises dans l''industrie de la terre cuite» realizado em 1968 pela A PROTEB para o Institut d'Economies Comparés, aliás o sexto estudo idêntico realizado até então na mesma indústria. Sob o aspecto geral, ver «La comparaison inter-interprises — facteur de productvité» — publicação da AEP da OECE - Janeiro de 1958.

([3]) — Ver inquéritos ingleses sobre a produtividade na construção «National Building Studies — Reports n.os 18 e 21.

margem do lucro, específicas do local, da conjuntura, ou de qualquer outro aspecto aleatório — é bastante mais difícil de obter, em face dos naturais receios de cada uma das indústrias em o revelar. Tais índices, devidamente recolhidos, podem libertar-se também da relação com as unidades monetárias, estabelecendo o quociente de duas quantias, normalmente em percentagens ou por relação entre unidades físicas, e assim serem utilizáveis para comparações com elementos colhidos fora do meio ou país onde são apurados, o que tem o maior interesse na actualidade do caso português, em que se pretende recuperar, em todos os ramos o atraso industrial que vimos registando desde o início da própria era industrial.

Deve notar-se todavia que, ainda paralelamente aos exemplos médicos, e na maioria dos casos é igualmente inconveniente sair da «zona de normalidade» quer pelo limite superior quer pelo inferior, visto que, por definição, a anormalidade em que se cai vai ter, a curto ou a médio prazo, as suas consequências maléficas.

Já me tenho referido noutros trabalhos a um desses índices, ou «ratios», hoje internacionalmente aceite e correntemente utilizado relativamente à mão-de-obra necessária na construção de habitações; trata-se do número de horas-homem por fogo médio (ou por metro quadrado de área útil, ou por metro cúbico de construção). Ainda há poucos meses ([4]) o Centre Scientifique et Technique de Bâtiment, entidade que em França tem papel idêntico ao nosso Laboratório Nacional de Engenharia Civil, propunha um conjunto desses índices para o apuramento e controlo da mão-de-obra na construção de habitações, estendido já às diversas fases da sua execução; são também inúmeros os elementos fornecidos com essa forma, nos estudos e relatórios publicados pela ONU e OCDE.

Fácil se torna então, a qualquer empresa, determinar com certa frequência os seus valores para esses índices, verificar a que aspectos correspondem os resultados menos normais, para neles poder concentrar, e *só neles*, a sua capacidade de análise e de resolução, evitando uma vigilância dispersiva, onerosa e ineficiente.

Voltando ao problema que serviu de origem a esta esquematização, também é aplicável o o mesmo critério; quanto aos aspectos a estudar, podemos, em primeira análise, escolher:

a) — o número de empregados dos quadros permanentes da empresa (fazendo corresponder este ao número dos colaboradores com vencimento mensal)

b) — o encargo anual correspondente a esses quadros;

relacionando estes parâmetros com:

1) — o número de operários cujo trabalho é preparado, coordenado e dirigido por aqueles quadros;

2) — o encargo anual correspondente a esse pessoal;

3) — o valor da produção anual da empresa, a que uns e outros pertencem;

4) — o número de unidades produzidas em cada ano.

O índice que se obtém do quociente (a/1), expresso em percentagem, já tem sido utilizado, por exemplo, em certas reuniões internacionais promovidas pela ONU ([5]), e, através dos dados fornecidos de diversas origens, pode concluir-se que:

— há, em cada país, uma tendência para o crescimento constante desse índice (indicado como média nacional), provàvelmente devido à conjugação da variação simultânea do

([4]) — «Cahiers du Centre Scientifique et Tecnhique du Batiment» — Livraison n.º 93. Cahier 811 — Agosto 1968.

([5]) «Travaux du cycle d'études sur les changements a apporter a la structure de l'industrie du bâtiment afin d'ameliorer son efficacité at d'accroitre sa production» — Nations Unies — Praga, — 13-30 Abril de 1964 — Volume II — Pág. 271 e 274.

número de operários (a diminuir, sob a pressão da subida dos salários e por virtude da mecanização, da racionalização e da melhor organização das operações em estaleiro) e do número de empregados (a aumentar, em face das crescentes necessidades de estrutura, derivadas daquela tendência e, aliás, abordadas no início deste artigo).

— os índices mais elevados correspondem aos países mais industrializados, e também àqueles em que se atingem melhores produtividades, como é natural.

— esses valores oscilarão actualmente entre os 10 e os 20 %.

Ocorrer-nos-á, todavia, a necessidade de fazer corresponder os valores deste índice com os da produtividade média obtida no mesmo país ou grupo de actividade, não vá, em cada caso particular e transitòriamente, a Lei de Parkinson influenciar, embora já em reduzida escala, o volume dos quadros, o que, mesmo sem alteração do número de operários, nos daria a noção de melhoria, podendo não se identificar, com a realidade prática. Tal pode realmente suceder, sendo necessário que o empresário disso se aperceba imediatamente, e antes que a acção do meio concorrencial em que vive venha a anular esse desvio (mas então já muito tardiamente, certamente com prejuizo da empresa).

Daí se conclui que, embora fornecendo já um apoio relativamente válido, este índice se demonstra ainda vulnerável; por outro lado não tem em conta o nível relativo dos vencimentos, e são conhecidos de todos, casos em que se obtém melhor produtividade com um nível de vencimentos mais elevado e com um menor volume de quadros. É claro que, em contrapartida, tais casos não correspondem à generalidade nem à maioria.

Um outro índice de certa utilidade, obviando a algumas dessas dificuldades, corresponde ao quociente 3/a, com o incoveniente de se exprimir em unidades monetárias e portanto não se prestar a comparações além fronteiras, no que pode substituir-se por 4/a; todavia, ambas as hipóteses não têm em conta o nível de remuneração desses quadros, que deve estar relacionado com a sua eficiência, mas que se pode especìficamente analisar através do quociente b/a, adentro de cada país.

Parece, por fim, que, para uma análise global da eficiente dimensão dos quadros, se deva recorrer à relação b/3, muito embora para uma análise detalhada das origens de quaisquer desvios, se possa complementar com os valores de a/1 e de b/2. É claro que é possível detalhar ainda mais qualquer análise por esta via, subdividindo estes índices, por exemplo, para os empregados comerciais, administrativos e técnicos, e estes ainda consoante se destinem à execução, à concepção, ou à planificação da obra, se quisermos estender à distribuição dos efectivos totais a detecção de quaisquer anormalidades.

Resta por fim recolher, dum conjunto suficientemente volumoso de empresas com actividades idênticas, ou classificadas por grupos nessas condições, os valores destes «ratios», deduzir deles as respectivas médias e flutuações, para dar a cada um dos inquiridos, com esses resultados anónimos, uma válida base de julgamento da sua situação, fornecendo-lhe assim ao mesmo tempo, na maioria dos casos, uma indicação impessoal e objectiva quanto ao caminho a seguir.

E é principalmente disso que o empresário tem necessidade num meio em que, talvez por mentalidade e formação excessivamente analíticas, poucos sabem passar além da crítica das situações.

Quanto aos índices propostos, alguns resultados recolhidos, não têm ainda validade estatística suficiente (Por exemplo para (3/a) têm-se encontrado, entre nós, valores entre os 400 e os 800 contos por pessoa e por ano, para (b/3) percentagem entre 12 e 18 % e para (b/2) entre 10 a 15 %). É por isso que me sirvo também deste exemplo para realçar o interesse que haveria, para toda esta indústria, na realização de inquéritos periódicos, por iniciativa, por exemplo dos Grémios da Construção Civil, abrangendo não só os «ratios» aqui deduzidos, como vários outros que, com critério semelhante, se podem obter relativamente a outros aspectos da gestão da construção civil, como por exemplo, para controlo da absorção da mão-de-obra, do consumo dos materiais, dos encargos com stocks, etc., etc., dos quais um ou outro já aparecem até nos inquéritos de conjuntura da Associação Industrial Portuguesa.

V — CONCLUSÃO

A questão da dimensão dos quadros numa empresa de construção em vias de industrialização, posta como exemplo até pela actualidade que apresenta no nosso meio, e embora pudesse parecer conduzir a uma situação de difícil esclarecimento, não o é na realidade, desde que se disponha do apoio, mais ou menos detalhado, de um controlo por «ratios», cuja colheita, por inquérito, se deve promover no âmbito nacional e internacional, se pretendemos actualizar a nossa indústria de construção.

Trata-se apenas de um exemplo dentre as numerosas questões que condicionam os resultados das técnicas puras; são estas que se professam nas nossas escolas, com completa abstracção, todavia, doutros condicionantes — os económicos —, que assim lhe comprometem os resultados, quando utilizadas por uma maioria de técnicos, estes que lançados nas actividades produtoras deveriam ser os seus principais impulsionadores e por vezes se tornam seus dirigentes.

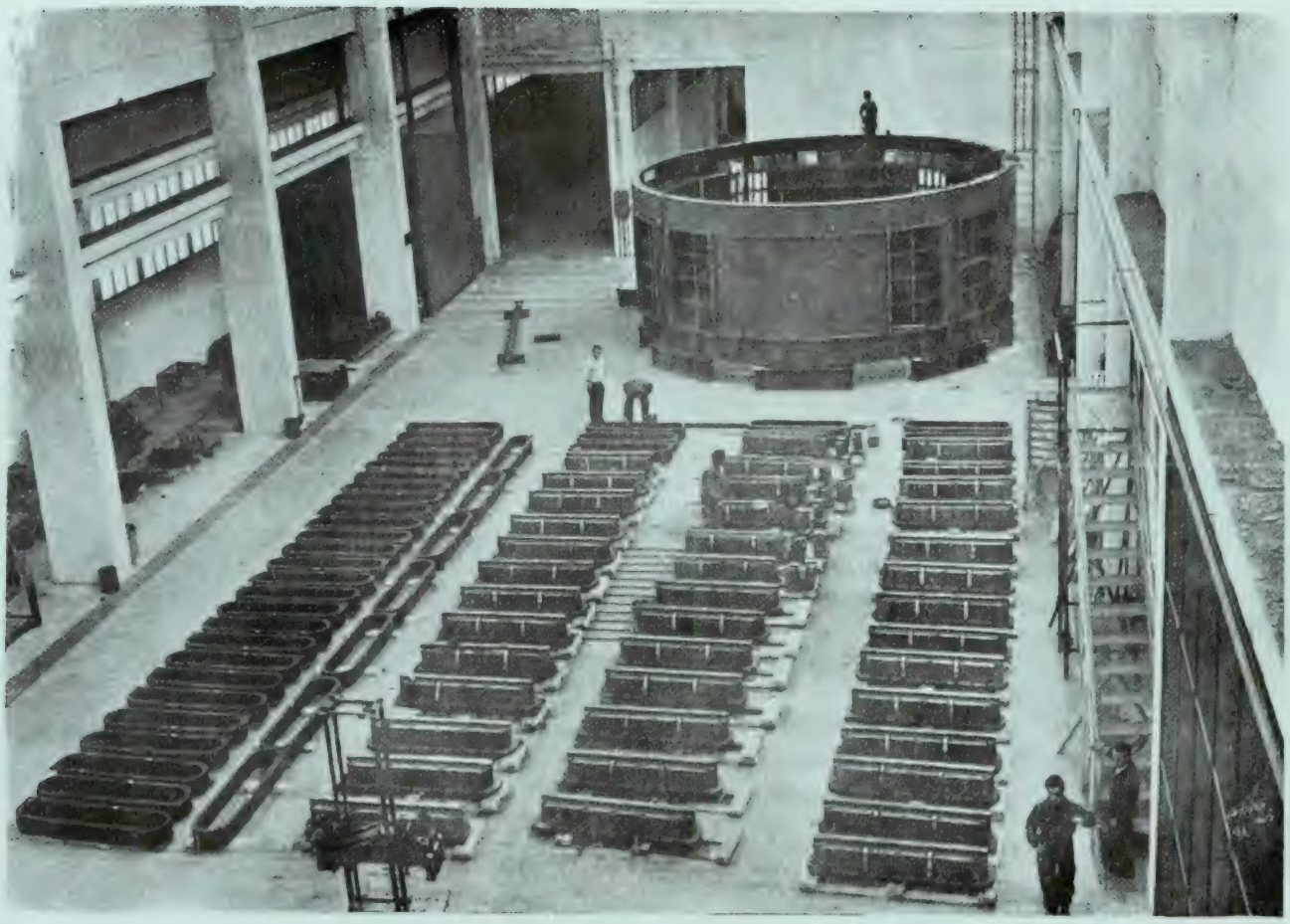
MAGUE

Aspecto dos 6 Guindastes eléctricos portuários de 5t x 20m fornecidos para a Administração dos Portos do Douro e Leixões, e já em serviço no Porto de Leixões.

PONTES ROLANTES, GUINDASTES E APAR. DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS	*Projecto e fabrico*
TURBINAS HIDRÁULICAS	*Fabrico segundo licença de A. C. M. de Vevey, S. A.*
TURBINAS A VAPOR	*Fabrico segundo licença de Brown Boveri, Cie.*
CALDEIRAS A VAPOR	*Projecto e fabrico segundo licença de Foster Wheeler, Co.*
EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS	

CONSTRUÇÕES METALOMECANICAS **MAGUE** S.A.R.L.

ALVERCA DO RIBATEJO — PORTUGAL



SEPSA EM COLABORAÇÃO COM A ASEA.
1.º PLANO - reparação de polos e bobinas rotóricas de um alternador de 78 MVA, 15 KV.
2.º PLANO - reparação do estator de um alternador de 72 MVA, 15 KV.

Além de construtores de alternadores de potência superior a 2.000 kVA e de motores de c.c. ou c.a. de potência superior a 1.000 C.V., possuimos equipamento especializado para a reparação de máquinas eléctricas rotativas de grande potência incluindo equilibragem dinâmica, ensaios de rigidez de bobines, perdas dieléctricas de isolantes, ring test e medidas de rendimento.

SEPSA SOCIEDADE DE CONSTRUÇÕES ELECTRO-MECÂNICAS, S.A.R.L.
APARTADO 8 • LEÇA do BAILIO • TELEX SEPSA P 2616

C. D. U. 536.2

EQUAÇÕES ADIMENSIONAIS DA FONTE MÓVEL

por A. M. R. MARRECAS
Departamento de Eng.ª Mecânica
Lab. de Termodinâmica Aplicada
Inst. Sup. Técnico
NEEM — IAC

RESUMO

Tornam-se adimensionais as expressões obtidas para os regimes transientes de propagação de calor, a partir de uma fonte móvel que se move com velocidade constante num meio infinito a duas e três dimensões.

SYNOPSIS

This note deals with the dimensionless solutions for transient regime temperature distributions in a three and two-dimensional infinite solid heated by a constant velocity moving heat source.

NOMENCLATURA

T — temperatura
T_o — temperatura inicial
T_r — temperatura de referência
V — velocidade da fonte
Q — quantidade de calor libertada pela fonte na unidade de tempo
k — condutividade térmica
c — calor específico
α — difusividade térmica
γ — peso específico
$(0, x, y)$ — referencial móvel associado à fonte
$r^2 = x^2 + y^2$ —
$Jo(\ )$ — função de Bessel de primeira espécie e ordem zero
$Ko(\ )$ — função de Bessel modificada de segunda espécie e ordem zero
$\theta, n, n_1, \rho, \lambda, \sigma, \varepsilon$ — parâmetros adimensionais a definir oportunamente
$[\ ]$ — indicativo de dimensões quando aplicado sobre um símbolo

1 — INTRODUÇÃO

A análise da expressão obtida pelos autores de [1], para o regime estacionário de distribuição de temperaturas num meio semi-infinito percorrido, à superfície, por uma fonte móvel com velocidade e débito calorífico constantes, motivou o presente artigo. Neste, por aplicação da mesma técnica usada em [1], acrescida de modificações inerentes às formas específicas a tratar, tornam-se adimensionais as expressões finais obtidas em [2] e [3]. No intuito de facilitar a sequência de leitura, seguidamente se reproduzem, pela ordem indicada, as expressões em causa.

$$T = \frac{Q}{4k\pi} \cdot \frac{1}{r} \cdot e^{-\frac{V}{2\alpha}x} \cdot \frac{1}{2} \left\{ e^{-\frac{V}{2\alpha}r} \operatorname{erfc}\left[\frac{r}{2\sqrt{\alpha t}} - \frac{V}{2}\sqrt{\frac{t}{\alpha}}\right] + e^{\frac{V}{2\alpha}r} \operatorname{erfc}\left[\frac{r}{2\sqrt{\alpha t}} + \frac{V}{2}\sqrt{\frac{t}{\alpha}}\right] \right\} \quad (1)$$

$$T = \frac{Q}{2k\pi} e^{-\frac{V}{2\alpha}x} \left[K_o\left(\frac{V}{2\alpha} r\right) - e^{-\frac{V^2}{4\alpha}t} \int_0^\infty \frac{Jo(ru)\, e^{-\alpha u^2 t}\, u}{u^2 + \left(\frac{V}{2\alpha}\right)^2} du \right] \quad (2)$$

2 — TRATAMENTO MATEMATICO

Não reveste grande complexidade e a observância dos três pontos que se expõem seguidamente conduz a resultados imediatos;

1) Tomar como origem das temperaturas o valor inicial T_o e não os zero graus e introduzir

uma temperatura de referência (p.ex. o ponto de fusão do meio onde se desenrola o fenómeno) T_r.

2) Substituir k por $\alpha \gamma c$, lembrando que, num meio a duas dimensões, será $[\gamma] = [F L^{-2}]$.

3) Observar que o parâmetro u interveniente na integranda de (2) tem as dimensões $[u] = [L^{-1}]$ e praticar a mudança de variáveis $\varepsilon = \frac{2 u \alpha}{v}$.

Após transformações convenientes, ficam as expressões na forma de funções adimensionais, sendo, respectivamente

$$\frac{\theta}{n} = \frac{1}{\rho} . e^{-\lambda} . \frac{1}{2} \left\{ e^{-\rho} \operatorname{erfc} \left[\frac{1}{2} \frac{\rho}{\sigma} - \sigma \right] + e^{\rho} \operatorname{erfc} \left[\frac{1}{2} \frac{\rho}{\sigma} + \sigma \right] \right\} \quad (3)$$

$$\frac{\theta}{n_1} = e^{-\lambda} \left[K_0(\rho) - e^{-\sigma^2} \int_0^{\infty} \frac{J_0(\rho \varepsilon)\, e^{-\sigma^2 \varepsilon^2}}{\varepsilon^2 + 1} \, d\varepsilon \right] \quad (4)$$

em que

$$\theta = \frac{T - T_0}{T_r - T_0} \qquad n = \frac{Q V}{8 \pi \alpha^2 \gamma c (T_r - T_0)}$$

$$n_1 = \frac{Q}{2 \pi \alpha \gamma c (T_r - T_0)} \qquad \lambda = \frac{V x}{2 \alpha}$$

$$\rho = \frac{V r}{2 \alpha} \qquad \sigma = \frac{V}{2} \sqrt{\frac{t}{\alpha}} \qquad \varepsilon = \frac{2 u \alpha}{V}$$

3 — CONCLUSÕES

1) A equação (3) pode transferir-se para um meio semi-infinito admitindo, como é corrente [4], o isolamento deste em relação ao meio ambiente. Implica isto a multiplicação por dois de (1), posto que todo o calor fica agora retido no meio semi-infinito. Nestas condições, n passa a ter o valor

$$n = \frac{Q V}{4 \pi \alpha^2 \gamma c (T_r - T_0)}$$

, que coincide com o de [1], e a expressão, quando $\sigma \longrightarrow \infty$, degenera em

$$\frac{\theta}{n} = \frac{1}{\rho} e^{-(\lambda + \rho)} \quad (5)$$

que figura, igualmente, em [1] e corresponde, como foi dito, ao regime estacionário do fenómeno. Note-se que, neste modelo, T_0 será, normalmente, a temperatura ambiente.

2) As formas adimensionais (3) e (4) resumem, em expressões únicas, múltiplas combinações possíveis das variáveis intervenientes, permitindo, assim, que, com um único grupo de curvas para cada σ, se cubram todos os casos possíveis. Isto aumenta, consideràvelmente, o potencial das expressões.

3) As formas (3) e (4) parecem particularmente adaptadas às aplicações tecnológicas do formulário.

BIBLIOGRAFIA

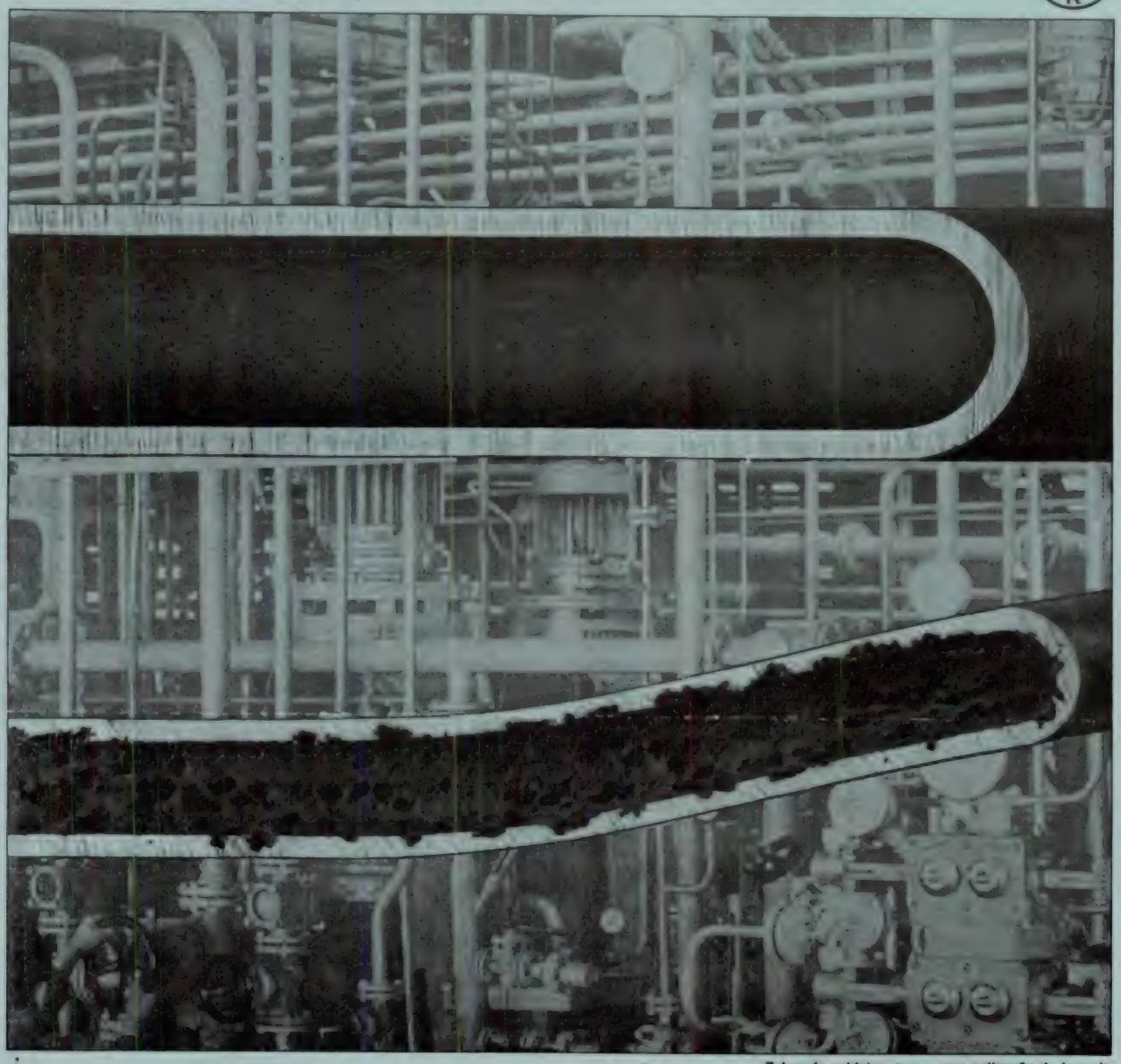
[1] CHRISTENSEN, N.; DAVIES, V. de L.; GJERMUNDSEN, K., British Welding Journal, pp. 54-75, Fevereiro, 1965.

[2] MARRECAS, A. M. R., Técnica n.º 372, pp. 79-82, 1967.

[3] MARRECAS, A. M. R. Técnica n.º 381, pp. 7-11, 1968.

[4] ROSENTHAL, D., Trans. ASME, vol. 68, pp. 849-866, 1946.

Bayer



Tubos de caldeira, com e sem aplicação de Levoxin

Levoxin supera a protecção anticorrosiva com hidrazina. Considerada até hoje a mais eficaz.

*Levoxin é um novo tipo de hidrazina com capacidade de reacção muito mais elevada, que proporciona uma segurança de serviço ainda maior nas suas instalações.

Levoxin protege da corrosão todo o circuito de água-vapor mediante extrema aceleração da ligação de oxigénio, alcalinização, favorecimento da formação de camada protectora de magnetite, e graças ao efeito inibidor.

É muito vasto o campo de aplicação deste produto Bayer: em caldeiras de toda a espécie, tubagens de vapor e de água condensada, aquecimentos a distância e por circulação, sistemas de refrigeração fechados. E também para a conservação, em húmido, de instalações que vão estar imobilizadas passageiramente.

Condições económicas e segurança de serviço são os factores decisivos que falam a favor de Levoxin. Graças ao emprego de Levoxin, reduz-se a ocorrência de grandes reparações e evita-se dispendiosas falhas de funcionamento.

Informação 778 AA

Queira enviar este cupão, colado sobre papel timbrado, à:

BAYER PORTUGAL s.a.r.l.
Apartado 2365, LISBOA
Apartado 40, PORTO

☐ Pedimos o envio do prospecto sobre Levoxin.

☐ Pedimos conselhos para o seguinte problema:

levoxin

FANAFEL

FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS
SOCIEDADE LIMITADA

TELEF. 5 20 91/2/3 — OVAR - PORTUGAL — TELEG. FELTROS

FELTROS TECIDOS
TECIDOS FILTRANTES E INDÚSTRIAIS

de fibras naturais ou sintéticas, puras ou em mistura
em qualques formato e dimenção
para

Indústria papeleira
Pastas para papel
Fibrocimento
Curtumes
Industriais têxteis
Estamparia
Acabamentos
Lavandarias
Hospitais e Hotéis
Lonas em sintético

Correias transportadoras
Indústrias químicas
Filtração de água
Cervejas
Refrigerantes
Lacticínios
Azeite e produtos oleosos
Produtos gordurosos
Geleias

Vinhos
Açúcar
Farinhas alimentares
Sabões e detergentes
Cerâmicas
Captação e recuperação de poeiras
Despoeiragens
Tubos de ventilação
etc., etc., etc.

OS NOSSOS SERVIÇOS TÉCNICOS ESTÃO SEMPRE À VOSSA INTEIRA DISPOSIÇÃO PARA ESTUDAR QUALQUER PROBLEMA DE TECIDOS INDURTRIAIS

Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações, L.da

(SONDADORA)

SONDAGENS geológicas e geotécnicas — CAPTAÇÕES de águas subterrâneas — REBAIXAMENTOS do nível freático — CONSOLIDAÇÕES E ESTABILIZAÇÃO do solo — INJECÇÕES DE CIMENTO e outros produtos — INFRAESIRUTURAS de barragens, túneis e pontes — FUNDAÇÕES de todos os tipos

Única Empresa da especialidade com sede no Ultramar Português

DELEGAÇÃO - LISBOA
Tr. do Guarda Mór, 13-r/c
Tel. 32 46 93 e 21 32 56

SEDE - LUANDA
R. Francisco Newton, 389/393
C. P. 2178 - Tel. 81 89 7

MOÇAMBIQUE
L. Marques - C.P. 982 - Tel. 74 11 21
Beira - C. P. 1002 - Tel. 7 14 97

C. D. U. 621.311.1.001.2

APLICAÇÃO DO MÉTODO DE REDUÇÃO A UMA BASE ARBITRÁRIA NO CÁLCULO DE REDES ELÉCTRICAS

por HERMÍNIO DUARTE-RAMOS
Engenheiro Electrotécnico (I. S. T.)
Assistente da U. L. (Angola)

RESUMO

Justifica-se a aplicação do método de redução a uma base arbitrária na especificação das máquinas eléctricas (alternadores, motores, transformadores) e apresentam-se as suas vantagens no cálculo das grandezas de curto-circuito permanente das redes eléctricas.

SYNOPSIS

The application of the per-unit method is justified in electrical machine specifications (generators, motors, transformers), and its advantages in electrical network short-circuit calculations are examined.

1. INTRODUÇÃO

O cálculo numérico de redes eléctricas é grandemente simplificado através do método de redução de valores a uma dada base, o que se traduz em economia de tempo de cálculo e diminuição de probabilidade de erro.

A teoria do método [1], na sua concepção geral, conduz a relações entre as grandezas participantes nas operações de cálculo que possibilitam, de uma forma imediata e simplificada, a sua introdução no processo numérico.

Pretende-se no presente artigo mostrar as vantagens da aplicação do método no cálculo das grandezas fundamentais no caso de curto-circuito das redes eléctricas de transporte e distribuição de energia e a sua utilidade nas indústrias dos equipamentos eléctricos activos e de transformação.

Na sua essência este estudo foi exposto nas lições sobre curto-circuitos nas redes eléctricas da Cadeira «Aplicações da Electricidade I» do curso de Engenharia Electrotécnica dos Estudos Gerais Universitários de Angola (hoje Universidade de Luanda) no ano lectivo 1967/68.

2. ESPECIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS

Normalmente os fabricantes de máquinas eléctricas (alternadores, motores, transformadores) exprimem a sua reactância em percentagem ou por unidade. Subentende-se então que a base de referência (S_b, U_b) é constituída pelos valores nominais de potência aparente e da tensão da máquina.

Sendo $S_b = S_n$ e $U_b = U_n$ também os valores base de intensidade de corrente e da impedância serão os correspondentes valores nominais

$$I_b = \frac{S_n}{U_n} = I_n \tag{1}$$

e

$$Z_b = \frac{U_n^2}{S_n} = Z_b \tag{2}$$

entendendo-se por «impedância nominal aparente» Z_n o valor aparente da impedância referida às condições nominais ($Z_n = U_n / I_n$), que não se deve confundir com a impedância da máquina respectiva.

Assim, de um modo geral, os valores por unidade relativos aos valores nominais de um dado sistema são

$$S_u = 1 \tag{3}$$

$$U_u = 1 \tag{4}$$

$$I_u = \frac{I}{I_n} \tag{5}$$

$$Z_u = \frac{Z}{Z_n} \tag{6}$$

bastando portanto a impedância por unidade Z_u para caracterizar os equipamentos eléctricos jun-

tamente com os valores nominais da tensão e da potência (base).

Conjugando esta característica com os teoremas de mudança de base [1], pode enunciar-se com toda a generalidade que *as características eléctricas de uma máquina eléctrica são perfeitamente definidas pelos valores nominais da potência* (S_n) *e da tensão* (U_n) *e pelo valor por unidade da impedância nominal aparente* (Z_u) *em qualquer sistema eléctrico ou base de cálculo.*

2.1. Alternadores

As reactâncias dos alternadores são especificadas em percentagem relativamente à sua potência (em kVA) e tensão (kV) nominais: reactância subtransitória X'', transitória X', síncrona X (e, no caso de máquinas de polos salientes, as respectivas reactâncias transversais e longitudinais), ainda a reactância inversa X_i e em especial a homopolar X_h.

Conforme o problema em análise assim se considera a reactância que interessa ao cálculo. Por exemplo, num estudo de estabilidade dinâmica interessará a reactância subtransitória e no dimensionamento do poder de corte de um determinado disjuntor da rede a reactância transitória.

Importante é o significado físico de reactância síncrona expressa por unidade (ou em percentagem). De facto sendo o seu valor em Ohm

$$X = X_u \cdot \frac{U_n}{I_n} \qquad (7)$$

constata-se que *a queda de tensão interna com a máquina a funcionar a plena carga,* XI_n, *corresponde à percentagem da tensão nominal determinada pelo valor por unidade* X_u *da sua reactância.*

Por outro lado a corrente de curto-circuito franco de um alternador, supondo o funcionamento em vazio com a tensão nominal, é apenas limitada pela sua reactância pelo que, no instante inicial, será

$$I''_k = \frac{U_n}{X''} \qquad (8)$$

onde X'' representa a reactância relativa ao período subtransitório (anàlogamente para os períodos transitório e permanente) e portanto com (7)

$$I''_k = \frac{1}{X_u} \cdot I_n \qquad (9)$$

quer dizer, *o valor por unidade da reactância indica quantas vezes a corrente de curto-circuito, nas condições de funcionamento mais desfavoráveis para o alternador, é maior que a corrente nominal.*

Outra grandeza característica dos alternadores é a sua relação de curto-circuito k que se define como sendo a relação entre a corrente de excitação I_{eo}, exigida no funcionamento em vazio nas condições nominais de tensão e frequência, e a corrente de excitação I_{ek}, necessária para que, num curto-circuito trifásico simétrico franco, a corrente fornecida pelo alternador uma vez atingido o regime permanente seja a corrente nominal

$$k = \frac{I_{eo}}{I_{ek}} \qquad (10)$$

Independentemente da saturação, porém, de acordo com as características em vazio e de curto-circuito (fig. 1) estabelece-se

$$\frac{I_{eo}}{I_{ek}} = \frac{I_k}{I_n} \qquad (11)$$

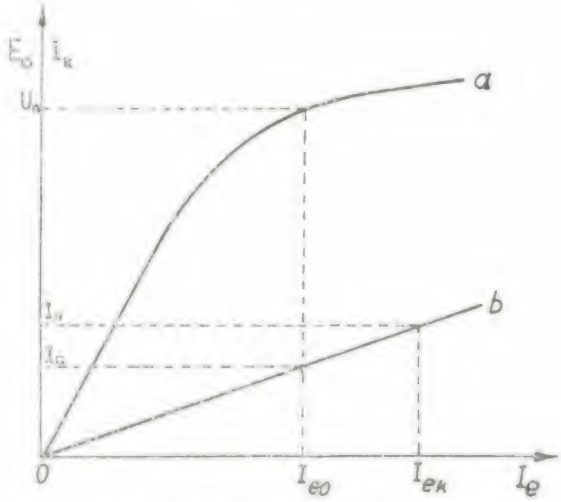


Fig. 1 — Definição da relação de curto-circuito de um alternador.
a) Característica em vazio;
b) Característica de curto-circuito.

donde se deduz, com expressão análoga a (9), que a *relação de curto-circuito de um alternador é igual ao inverso da impedância síncrona expressa por unidade*

$$k = \frac{1}{X_u} \tag{12}$$

pois

$$I_k = k\, I_n \tag{13}$$

isto é, a relação de curto-circuito dá uma medida de corrente permanente de curto-circuito, fornecendo por conseguinte a mesma informação que a reactância síncrona sob uma forma mais intuitiva.

2.2. Motores

Frequentemente os motores são especificados pelos valores nominais da potência em CV e da tensão em kV.

A potência aparente nominal só se poderá determinar conhecidos o rendimento e o factor de potência. Se não se conhecem estes valores é normal utilizar valores médios para cada tipo de motor e ordem de grandeza da potência no cálculo da potência aparente base [2]: para motores de indução

$$S_{[kVA]} = P_{[CV]} \tag{14}$$

e para motores síncronos com $\cos\varphi = 1$

$$S_{[kVA]} = 0{,}85\, P_{[CV]} \tag{15}$$

ou com $\cos\varphi = 0{,}8$

$$S_{[kVA]} = 1{,}10\, P_{[CV]}\,. \tag{16}$$

2.3. Transformadores

Num transformador são características especificadoras a potência aparente, as tensões nominais primária e secundária (ou a relação de transformação m) e a tensão de curto-circuito u_k expressa por unidade (ou em percentagem).

De acordo com as noções estabelecidas o valor da tensão de curto-circuito terá de estar relacionado com a impedância do transformador. No estabelecimento desta relação despreza-se a resistência óhmica em face da reactância de dispersão e considera-se nula a corrente magnetizante (transformador ideal).

A teoria do transformador define a reactância interna como sendo a reactância X_k (expressa em Ohm) medida num ensaio de curto-circuito, quando se aplica ao primário uma tensão (chamada tensão de curto-circuito primária U_{k1} expressa em Volt) de modo a que se consuma a corrente nominal respectiva (fig. 2-a). Pelo esquema equivalente do transformador nestas condições

$$\frac{U_{k1}}{m} = X_k\, I_{n2}\,. \tag{17}$$

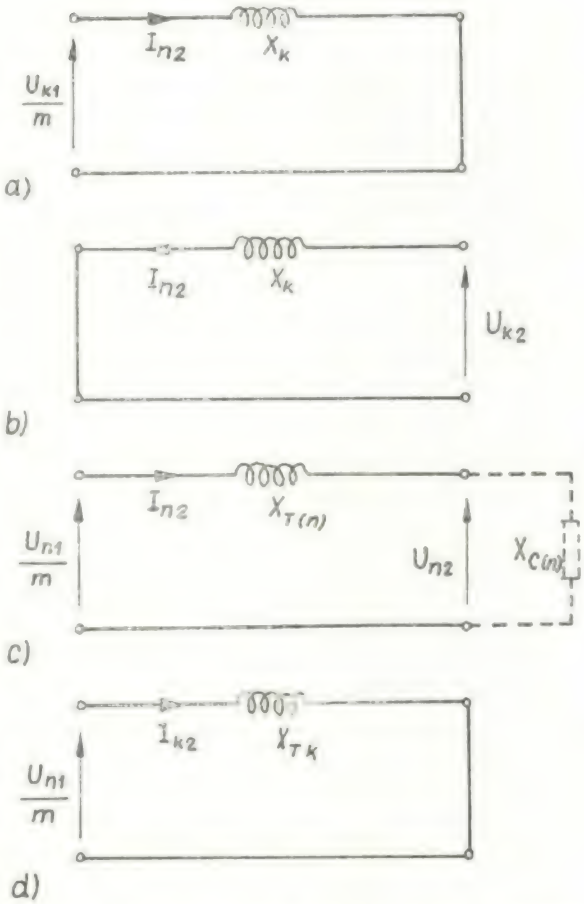


Fig. 2 — Esquema equivalente de um transformador ideal.
a) Definição de tensão de curto-circuito primária;
b) Definição de tensão de curto-circuito secundária;
c) Funcionamento normal (com carga);
d) Curto-circuito aos terminais de um transformador.

Considerando porém o primário em curto-circuito a tensão a aplicar no secundário U_{k2}, designada tensão de curto-circuito secundária, necessária para circular a corrente nominal (fig. 2-b), será

$$U_{k2} = X_k\, I_{n2} \tag{18}$$

donde $$\frac{U_{k2}}{U_{k1}} = \frac{1}{m} \qquad (19)$$

com $$m = \frac{U_{n1}}{U_{n2}} \qquad (20)$$

definindo-se portanto

$$\frac{U_{k2}}{U_{n2}} = \frac{U_{k1}}{U_{n1}} = \text{const.} = u_k \qquad (21)$$

relação constante que se designa por tensão de curto-circuito do transformador, sendo portanto um valor expresso por unidade. Resulta assim que *o valor por unidade da tensão de curto-circuito é igual no primário e no secundário do transformador.*

Quando se aplica a tensão nominal ao primário e a corrente é a nominal deverá existir uma determinada carga $X_{C(n)}$ no transformador (fig. 2-c) tal que

$$\frac{U_{n1}}{m} = (X_{T(n)} + X_{C(n)})\, I_{n2} \qquad (22)$$

onde $X_{T(n)}$ é a reactância equivalente do transformador reduzida ao secundário nas condições nominais de funcionamento (que não será igual a X_k devido à saturação), expressão que juntamente com (17) e (21) conduz a

$$u_k = \frac{X_k}{X_{T(n)} + X_{C(n)}}\,. \qquad (23)$$

Mas pela definição (6), atendendo a que $X_{T(n)} + X_{C(n)}$ representa a impedância nominal aparente do circuito (quando reinam as condições nominais da tensão e da corrente), a reactância de curto-circuito X_k tem o valor por unidade

$$X_{ku} = \frac{X_k}{X_{T(n)} + X_{C(n)}} \qquad (24)$$

quer dizer, *a tensão de curto-circuito do transformador* u_k (valor expresso por unidade) *é igual ao valor por unidade da reactância de curto-circuito do transformador.*

$$u_k = X_{ku}\,. \qquad (25)$$

Atendendo a que em geral $X_{C(n)} >> X_{T(n)}$ de (23) conclui-se

$$X_{C(n)} \simeq \frac{1}{u_k}\,.\, X_k \qquad (26)$$

pelo que a *tensão de curto-circuito por unidade determina o multiplicador da reactância de curto-circuito do transformador para definir a carga que deverá existir de modo a circular a corrente nominal quando se aplica a tensão nominal* (se a carga for superior a corrente é inferior à nominal, e inversamente).

Quando se verifica um curto-circuito aos terminais de um transformador (no lado secundário), admitindo que a tensão de funcionamento é a nominal, a corrente correspondente, denominada corrente de curto-circuito, referida ao secundário, será tal que (fig. 2-d)

$$\frac{U_{n1}}{m} = X_{Tk}\,.\, I_{k2} \qquad (27)$$

e supondo que a reactância equivalente do transformador em curto-circuito referida ao secundário é igual para a tensão nominal U_{n1} e para a tensão de curto-circuito primária, $X_{Tk} \simeq X_k$, obtém-se de (17) e (27)

$$\frac{U_{k1}}{U_{n1}} \simeq \frac{I_{n2}}{I_{k2}} \qquad (28)$$

ou seja, com (21),

$$I_k \simeq \frac{1}{u_k}\,.\, I_n \qquad (29)$$

isto é, *a tensão de curto-circuito* u_k *tem o significado* (tal como a reactância por unidade dos alternadores) *de determinar o multiplicador da corrente nominal* (primária, ou secundária conforme a base de cálculo) *quando se verifica um curto-circuito aos terminais de saída do transformador.*

2.3.4. Transformadores monofásicos

É evidente que os valores da reactância de dispersão de um transformador dependem se as leituras se efectuam no primário ou no secundário (na alta ou na baixa tensão), tomando valores diferentes X_1 e X_2, que se reduzem pela potência aparente comum e respectiva tensão a X_{1u} e X_{2u}.

Mas cada impedância (vista do primário ou do secundário) é a repercussão da outra, podendo-se por conseguinte aplicar o teorema da repercussão [1], confirmado pela teoria do transformador

$$\frac{X_1}{X_2} = \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 \qquad (30)$$

que conduz, em conjugação com (25), necessàriamente à importante propriedade: *A reactância por unidade apresentada por um transformador é igual referida ao primário ou ao secundário e terá o valor da tensão de curto-circuito*

$$X_{1u} = X_{2u} = u_k \,. \qquad (31)$$

Este resultado tem enorme valor prático dada a simplificação nos cálculos que provoca. Note-se todavia que esta vantagem apenas se consegue se se escolher as tensões base, no caso de circuitos ligados por transformadores, de modo a que estejam na mesma relação do número de espiras dos enrolamentos (de acordo com as respectivas relações de transformação).

2.3.2. Transformadores trifásicos

Nos transformadores trifásicos interessa observar a influência do tipo de ligações dos enrolamentos.

Seja um transformador trifásico com dois enrolamentos ligados em estrela-triângulo tendo a potência $S_1 = S_2 = S$, a relação de transformação $m = U_1/U_2$ e a tensão de curto-circuito u_k por unidade.

a) Cálculo da reactância no lado primário:
— por unidade:

$$X_{1u} = u_k \qquad (32)$$

— em Ohm:

$$X_1 = u_k \,.\, \frac{U_1^2}{S} \qquad (33)$$

b) Cálculo da reactância no lado secundário:
— relação do número de espiras dos enrolamentos:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{U_2} \qquad (34)$$

— reactância no secundário, em Ohm:

$$X_2 = X_1 \left(\frac{U_2}{U_1/\sqrt{3}}\right)^2 \qquad (35)$$

— reactância no lado secundário da estrela equivalente, em Ohm:

$$\frac{X_2}{3} = X_1 \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 \qquad (36)$$

— reactância no lado secundário, por unidade:

$$X_{2u} = \frac{X_2}{3} \cdot \frac{S}{U_2^2} \,. \qquad (37)$$

Substituindo (33) e (36) em (37) obtém-se $X_{2u} = u_k$, tal como no primário, como indica (32).

No caso das ligações triângulo-estrela, a relação do número de espiras dos enrolamentos é $n_1/n_2 = U_1/\sqrt{3}\,U_2$ e portanto a tensão base para o lado secundário é $\sqrt{3}\,U_2$, sendo a reactância por unidade $X_{2u} = X_2 \,.\, S \,/\, (\sqrt{3}\,U_2)^2$ sendo $X_2 = X_1 \,.\, (\sqrt{3}\,U_2 / U_1)^2$ com $X_1 = u_k \,.\, U_1/S$ donde $X_{2u} = u_k$.

As ligações estrela-estrela e triângulo-triângulo nada apresentam de novo, pelo que se pode enunciar com toda a generalidade: *O valor por unidade da reactância de um transformador, que é igual à tensão de curto-circuito, é independente do tipo de ligações dos enrolamentos e igual quer referida ao primário quer ao secundário*

$$X_{1u} = X_{2u} = u_k \,.$$

2.3.3. Transformador de três enrolamentos

No caso dos transformadores de três ou mais enrolamentos, as potências nominais não são iguais nos três enrolamentos (frequentemente $S_1 = S_2 = 3\,S_3$[1]. Em consequência os valores por unidade ou porcentuais das reactâncias, sendo referidas aos valores nominais do respectivo enrolamento podem ter bases com potências diferentes. Para se efectuar o cálculo de uma rede contendo transformadores de três enrolamentos é necessário reduzir todas as reactâncias a uma base comum.

Sejam os seguintes valores em Ohm:

X_{12} — reactância de dispersão medida no primário com o secundário em curto-circuito e o terciário em aberto;

X_{23} — reactância de dispersão medida no secundário com o terciário em curto-circuito e o primário em aberto;

X_{31} — reactância de dispersão medida no terciário com o primário em curto-circuito e o secundário aberto

e considerem-se os valores por unidade:

X_{12u} — referida à base do primário (U_1, S_1);
X_{23u} — referida à base do secundário (U_2, S_2);
X_{31u} — referida à base do terciário (U_3, S_3).

Nestas condições

$$X_{12u} = X_{12} \cdot \frac{S_1}{U_1^2}$$

$$X_{23u} = X_{23} \cdot \frac{S_2}{U_2^2} \qquad (39)$$

$$X_{31u} = X_{31} \cdot \frac{S_3}{U_3^2}.$$

Em geral são estes os valores especificadores de um transformador de três enrolamentos, juntamente com as características nominais das potências e das tensões.

Escolha-se, por exemplo, o primário para base comum de cálculo. Para os valores em Ohm será, a partir dos valores óhmicos,

$$X'_{12} = X_{12}$$

$$X'_{23} = X_{23} \cdot \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 \qquad (40)$$

$$X'_{31} = X_{31} \cdot \left(\frac{U_1}{U_3}\right)^2$$

ou, a partir dos valores por unidade (como geralmente acontece),

$$X'_{12} = X_{12u} \cdot \frac{U_1^2}{S_1}$$

$$X'_{23} = X_{23u} \cdot \frac{U_1^2}{S_1} \cdot \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 \qquad (41)$$

$$X_{31} = X_{31u} \cdot \frac{U_1^2}{S_1} \cdot \left(\frac{U_1}{U_3}\right)^2$$

Definindo X_1, X_2 e X_3 como sendo as reactâncias em Ohm respectivamente do primário, secundário e terciário, os correspondentes valores referidos à base do primário serão X'_1, X_2 e X'_3 de tal modo que

$$X_{12} = X_1 + X_2$$

$$X'_{23} = X'_2 + X'_3 \qquad (42)$$

$$X'_{31} = X'_3 + X'_1$$

e resolvendo este sistema

$$X'_1 = \frac{1}{2}\,(X'_{22} + X'_{31} - X'_2)$$

$$X'_2 = \frac{1}{2}\,(X'_{23} + X_{12} - X'_{31}) \qquad (43)$$

$$X'_3 = \frac{1}{2}\,(X'_{31} + X'_{23} - X'_{12}).$$

Estas três reactâncias estão ligadas em estrela (fig. 3) desprezando a corrente magnetizante. Note-se que o ponto comum é fictício, não tendo qualquer relação com o ponto neutro do sistema. Eventualmente poderá acontecer que uma das reactâncias resulte de natureza capacitiva devido à existência do sinal — em (43).

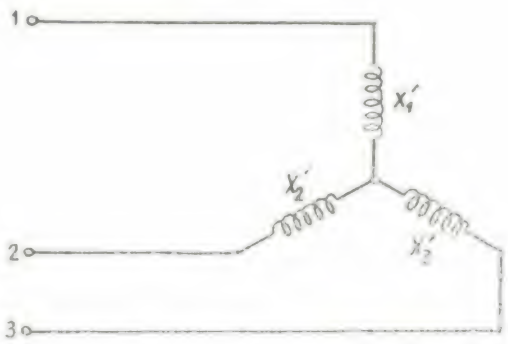


Fig. 3 — Esquema de reactâncias de um transformador de três enrolamentos.

3. CÁLCULO NO CURTO-CIRCUITO DE REDES ELÉCTRICAS

O cálculo do valor da corrente de curto-circuito numa rede baseia-se no respectivo esquema

equivalente de reactâncias expressas em valores por unidade.

3.1. Esquema de reactâncias equivalente de uma rede

Para se calcular uma rede eléctrica começa-se por definir o seu *esquema unifilar* (fig. 4-a) correspondente ao funcionamento equilibrado. Cada elemento de esquema é caracterizado pelos valores seguintes:

a) Geradores: potência nominal em kVA, tensão nominal em kV, reactância subtransitória (transitória, síncrona) por unidade;
b) Transformadores: potência nominal em kVA, relação de transformação, tensão de curto-circuito (em percentagem);
c) Linhas: impedância quilométrica, comprimento da linha;
d) Cargas activas: os motores síncronos e os motores de indução são caracterizados como os geradores ou por dados equivalentes;
e) Cargas passivas: potência activa em kW, tensão em kV e factor de potência.

Geralmente o esquema unifilar de uma rede indica ainda o tipo de ligações dos enrolamentos e o modo de ligação dos pontos neutros à terra, mas no exemplo em estudo não interessa considerar estas especificações.

A partir do esquema unifilar obtém-se o *esquema de impedâncias* (fig. 4-b) por substituição dos esquemas equivalentes de cada um dos elementos que constituem a rede. É evidente que para se poderem ligar os esquemas equivalentes parciais entre si é necessário reduzir todos os valores das impedâncias a uma base comum.

Cada elemento da rede possui um *esquema equivalente elementar*:

a) Gerador: equivale a uma f. e. m. em série com a impedância interna (resistência e reactância, que no caso de curto-circuito corresponde inicialmente à reactância subtransitória);
b) Transformador: esquema equivalente em T tendo longitudinalmente as impedâncias do secundário e transversalmente a impedância de magnetização (em vazio);
c) Linha: esquema equivalente em π, com a resistência e a inductância em série e a capacitância, relativa à capacidade distribuída em relação à terra, concentrada em derivação;
d) Carga activa: como o gerador;
e) Carga passiva: sendo um consumo em kW e para um factor de potência em geral com a corrente em atrazo, equivale à série de uma resistência e de uma inductância em paralelo com o sistema.

Fìsicamente podem introduzir-se algumas *simplificações*:

a) Gerador: a resistência é muito pequena comparada com a reactância;
b) Transformador: valores das resistências dos enrolamentos são insignificantes comparados com os das reactâncias de dispersão; a corrente magnetizante é insignificante em relação à corrente a plena carga, podendo-se desprezar a admitância transversal;
c) Linha: a resistência é muito menor que a inductância para altas tensões, sendo a relação tanto menor quanto maior for a tensão (no caso de tensões médias até 30 kV não se verifica a preponderância da inductância e no caso de cabos subterrâneos não é tão notável a relação); a capacidade é tanto menor quanto menor for o comprimento da linha, podendo-se desprezar a capacitância com um erro relativamente pequeno;
d) Carga activa: contribui para a intensidade de corrente de curto-circuito, mas os motores de indução têm uma contribuição que desaparece ràpidamente quando o motor é curto-circuitado;
e) Carga passiva: é desprezável a sua influência sobre a corrente total durante o curto-circuito (pois os seus terminais ficam curto-circuitados sem que tenha propriedades para gerar corrente).

Deste modo no cálculo das intensidades de corrente de curto-circuito suprimem-se as resistências internas dos geradores, impedância transversal e as resistências longitudinais dos transformadores, as resistências longitudinais e as capacidades transversais das linhas de transporte, as cargas activas dos pequenos motores de indução e as cargas passivas. Obtém-se assim o *esquema de reactância* (fig. 4-c), ao qual corresponde um cálculo simples, embora com resultados aproximados.

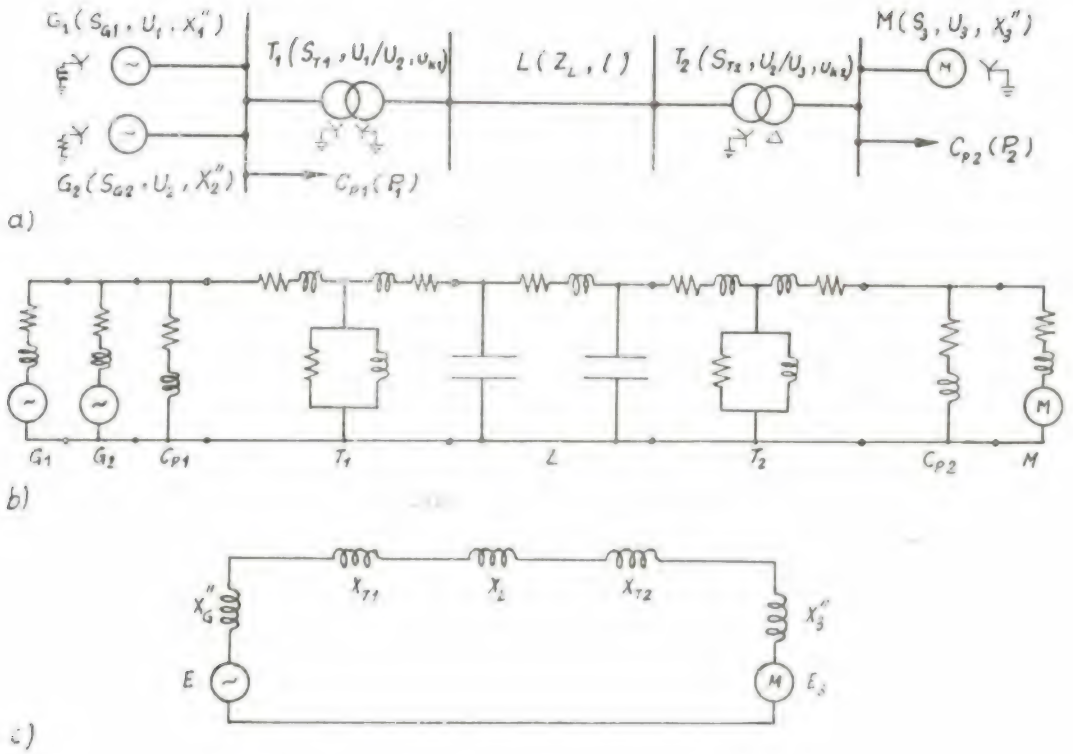


Fig. 4 — Esquemas de uma rede.
a) Esquema unifilar;
b) Esquema equivalente de impedâncias;
c) Esquema equivalente de reactâncias;

Pretendendo-se obter resultados mais rigorosos deverão intervir os valores das resistências e a influência das capacidades, o que se faz nos analizadores de redes ou por cálculo digital.

3.2. Potência de curto-circuito

Num dado ponto de uma rede define-se *potência de curto-circuito* S_k da rede nesse ponto pela potência aparente, convencional, correspondente à respectiva tensão nominal e à intensidade de curto-circuito simétrica I_k relativa a um curto-circuito tripolar franco no ponto considerado

$$S_k = \sqrt{3}\ U_n\ I_k. \qquad (44)$$

Em geral exprime-se I_k em kA, a tensão composta U_n em kV e S_k em MVA.

3.3. Impedância de curto-circuito

A rede a jusante (de natureza passiva) do ponto onde ocorre um curto-circuito franco não intervém no fenómeno e a rede a montante é equivalente à impedância Z_k, chamada *impedância de curto-circuito* da rede em relação ao ponto da avaria (fig. 5) aos terminais da qual se aplica a tensão nominal simples (por se tratar de um esquema unifilar equivalente de um sistema trifásico; se existirem elementos em triângulo tomam-se as estrelas equivalentes).

Então pela lei d'Ohm

$$I_k = \frac{V_b}{Z_k} \qquad (45)$$

ou

$$Z_k = \frac{U_b}{\sqrt{3}\ I_k} \qquad (46)$$

tomando-se em geral por tensão de referência U_b a tensão composta nominal da rede no ponto em avaria.

Mas por definição de potência de curto-circuito (44)

$$I_k = \frac{S_k}{\sqrt{3}\ U_b} \tag{46}$$

donde se conclui que a impedância de curto-circuito em relação a um dado ponto de uma rede (fìsicamente equivalente à impedância da rede activa a montante desse ponto no instante considerado)

$$Z_k = \frac{U_b}{\sqrt{3}\ I_k} \tag{47}$$

é igual à relação do quadrado da tensão composta e da potência de curto-circuito nesse ponto

$$Z_k = \frac{U_b^2}{S_k}\ . \tag{48}$$

Por razões de simplificação de cálculo esta propriedade refere-se à reactância de curto-circuito, pois geralmente desprezam-se as resistências sem erro apreciável.

3.4. Intensidade de corrente de curto-circuito

A partir do esquema de reactâncias, constituído por inductâncias em série ou em paralelo referidas a uma única base arbitrada (U_b , S_b) efectua-se a respectiva associação (em casos mais complexos é necessário intervir a transformação de ligações triângulo em estrela ou vice-versa). Neste sentido utilizam-se as propriedades de associação em série e em paralelo de valores expressos por unidade [1], obtendo-se então X_{ku}.

Mas como

$$X_k = X_{ku} \cdot \frac{U_b^2}{S_b} \tag{49}$$

por meio de (47) e porque $S_b = \sqrt{3}\ U_b\ I_b$ deduz-se

$$I_k = \frac{I_b}{X_{ku}}\ . \tag{50}$$

Para calcular o valor real da corrente de curto-circuito no ponto P da rede onde se verificou a avaria, de tensão nominal $U_{n(P)}$, que pode ser diferente da tensão base em que se reduziu o esquema de reactâncias, há que reduzir o valor calculado a esse ponto.

3.5. Repartição da corrente de curto-circuito

A intensidade de corrente de curto-circuito reparte-se pela relação inversa das reactâncias dos ramais em paralelo. Por exemplo no caso de dois geradores em paralelo sobre o mesmo barramento, com reactâncias subtransitórias X_1'' e X_2'', respectivamente, será

$$I_k = I_1 + I_2 \tag{52}$$

e

$$\frac{I_k}{\frac{1}{X''}} = \frac{I_1}{\frac{1}{X_1''}} + \frac{I_2}{\frac{1}{X_2''}} \tag{53}$$

onde

$$\frac{1}{X''} = \frac{1}{X_1''} + \frac{1}{X_2''}\ . \tag{54}$$

3.6. Cálculo da potência de curto-circuito

No local do defeito $S_{k(P)} = \sqrt{3}\ U_{n(P)}\ I_{k(P)}$ ou por S_1 $S_{k(P)} = \sqrt{3}\ U_b\ I_k$ e por (50)

$$S_{k(P)} = \frac{S_b}{X_{ku}}\ . \tag{55}$$

Se se tivesse efectuado o cálculo na base característica do ponto em que se verifica a avaria obter-se-ia a mesma expressão com $S_b = S_n$ onde S_n representa a potência nominal a montante do ponto considerado. Nestas circunstâncias *a potência de curto-circuito num dado ponto de uma rede é igual à relação da potência aparente nominal a montante desse ponto* (ou potência base, em geral) *e a impedância de curto circuito por unidade relativamente a esse ponto*

$$S_k = \frac{S_n}{Z_{ku}}\ . \tag{56}$$

Anàlogamente às intensidades de corrente também as potências de curto-circuito se repartem na razão inversa das impedâncias entre elementos em paralelo.

4. ESCOLHA DA BASE

O critério de escolha dos valores que definem a base de cálculo de uma rede, S_b e U_b, é caracterizado pela máxima simplicidade introduzida no processamento do cálculo.

De acordo com este princípio de economia de tempo e facilidade de cálculo observam-se as seguintes condições:

1.º A base deverá ser constituída pelas grandezas nominais de uma parte da rede, porque se elimina a eventual mudança de base do resultado para as condições da região interessada;

2.º A base deve corresponder à região da rede em que se conhecem mais valores por unidade;

3.º A base deve ser escolhida de modo a que os valores por unidade da tensão e da corrente nominais se aproximem o mais possível do valor unitário, pois se simplifica muito o cálculo numérico quando intervém números dessa ordem de grandeza;

4.º Se há geradores em paralelo sobre o mesmo barramento a base simplificará o cálculo se corresponder a uma potência base igual à soma das potências nominais dos geradores.

5. CONCLUSÕES

Fez-se a análise da aplicação do método de redução a uma base arbitrária na especificação das grandezas características das máquinas eléctricas e no cálculo das grandezas de curto-circuito das redes onde operam esses equipamentos, podendo resumir-se as seguintes vantagens do método:

1.ª — Permite aos fabricantes a especificação universal da impedância das máquinas eléctricas, em percentagem ou por unidade dos valores nominais indicados nas chapas de características;

2.ª — Nas máquinas do mesmo tipo (por exemplo, transformadores, máquinas síncronas, e assíncronas) com valores nominais muito distintos os valores das impedâncias por unidade são bastante próximos, mesmo que os valores em Ohm sejam muito diferentes. Fundamentado neste facto estabelecem-se tabelas de valores médios das impedâncias por unidade que permitem cálculos suficientemente correctos no caso de desconhecimento do valor da impedância de uma dada máquina mas conhecendo o seu tipo e características nominais. Por exemplo nos transformadores [3] verifica-se que a resistência equivalente varia entre 0,005 e 0,02 (valores menores para transformadores de maior potência) e a reactância equivalente oscila entre 0,015 e 0,10 (valores maiores para transformadores de maior tensão).

3.ª — A impedância por unidade é independente do tipo de ligações dos enrolamentos dos transformadores trifásicos, apesar dessas ligações determinarem as tensões no primário e no secundário com valores distintos consoante o tipo de ligações.

4.ª — No caso de redução de uma impedância expressa em Ohm num circuito equivalente para uma base comum terá de multiplicar-se cada impedância pelo quadrado da relação das tensões nominais do circuito de referência e do circuito que contém a impedância. Em contrapartida uma impedância por unidade, uma vez expressa numa dada base, tem o mesmo valor em qualquer circuito do esquema. Deste modo os circuitos complexos, com vários transformadores de diferentes relações de transformação, fica bastante reduzida a probabilidade de erro.

5.º Normalmente os cálculos das correntes de curto-circuito, da sua repartição e de estabilidade dinâmica são efectuados utilizando os valores por unidade das impedâncias reduzidas a uma base comum no esquema equivalente da rede.

6.º O desenvolvimento do cálculo numérico por meio dos valores por unidade simplifica-se enormemente, conduzindo a uma grande economia no cálculo analógico ou digital.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] H. DUARTE-RAMOS: Método de cálculo de redes eléctricas por redução de valores a uma base arbitrária; «Técnica» n.º 398 (1970) p. 417-426.

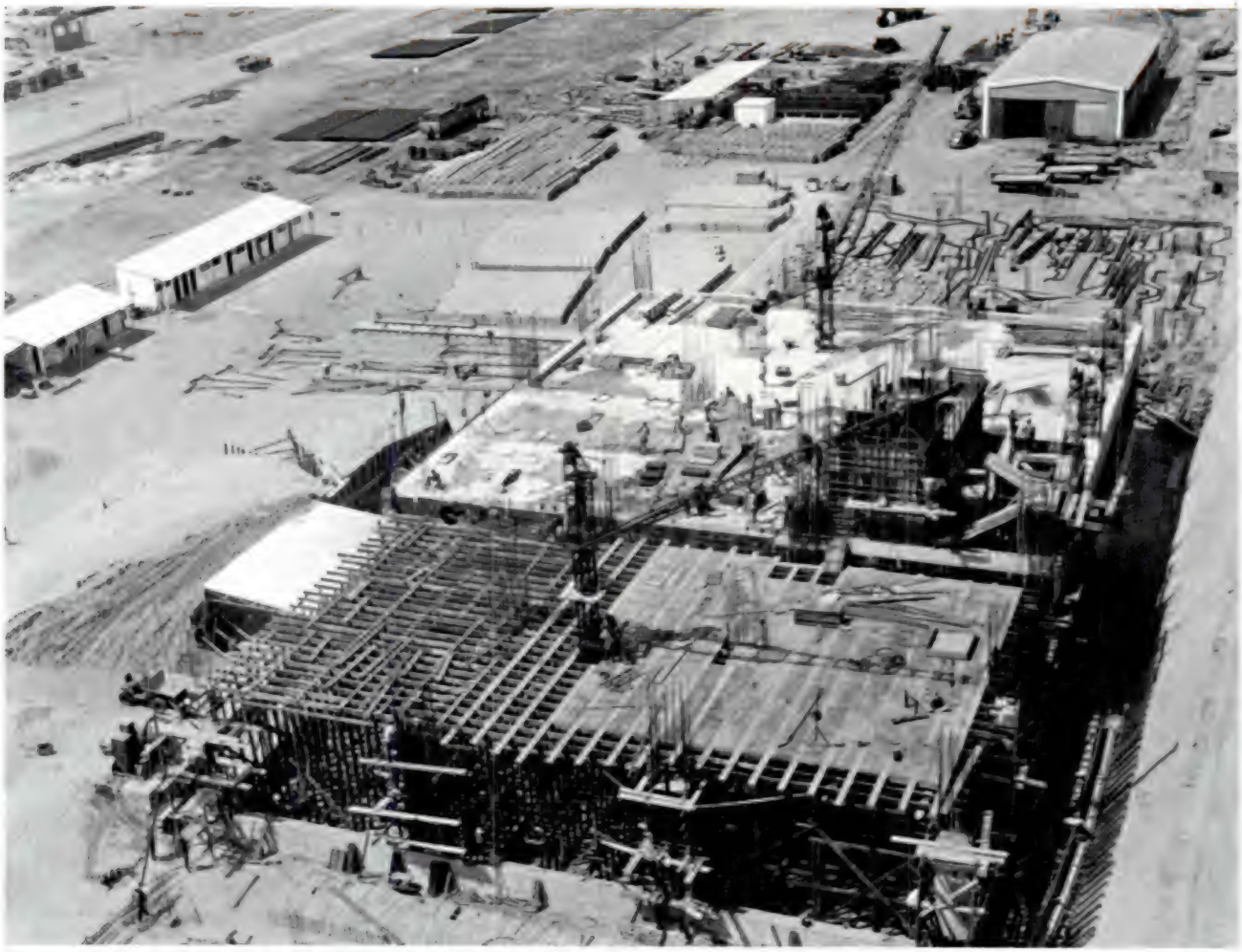
[2] W. D. STEVENSON, JR.: Elements of Power System Analysis; Mc Graw-Hill (1962).

[3] A. F. FRITZGERALD, C. KINGSLEY: Electric Machinery; Mc Graw-Hill (1961).

é vasto o nosso campo de acção

6 DELEGAÇÕES NA METRÓPOLE E ULTRAMAR

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, LDA.



SOCIEDADE DOS ARMADORES DE PESCA DE ANGOLA — Construção do Entreposto Frigorífico de Moçâmedes.

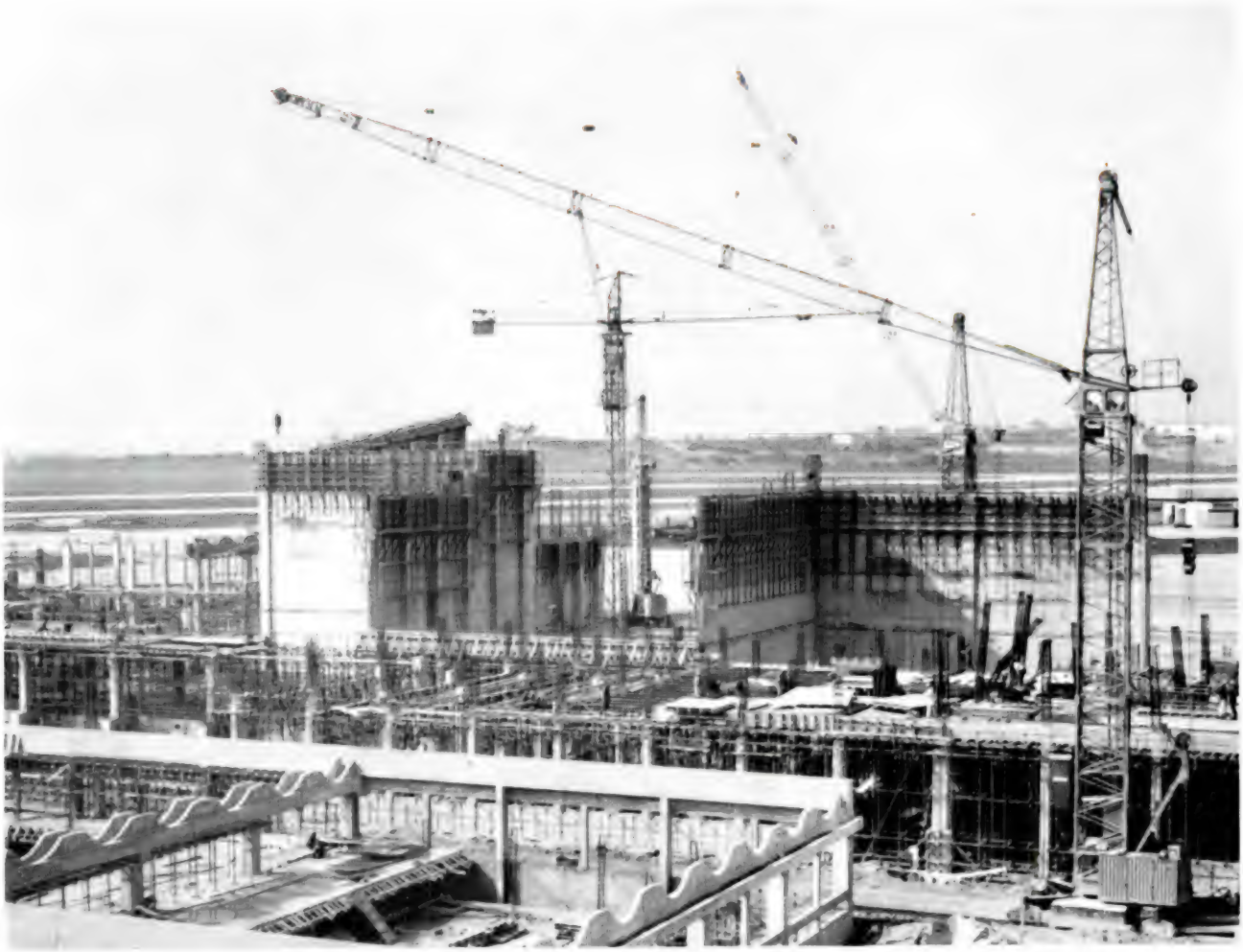
OBRAS PÚBLICAS
CONSTRUÇÃO CIVIL—INDUSTRIAL E URBANA

PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA • FUNDAÇÕES ESPECIAIS • CONSOLIDAÇÕES
OBRAS MARÍTIMAS E PORTUÁRIAS • PONTES E VIADUTOS • SILOS E CHAMINÉS
INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS

é vasto o nosso campo de acção

6 DELEGAÇÕES NA METRÓPOLE E ULTRAMAR

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, LDA.



TRANSPORTES AÉREOS PORTUGUESES — Aeroporto de Lisboa — Construção do Hangar n.º 6 para «BOEINGS» — 747 — (Jactos para 370 passageiros).

OBRAS PÚBLICAS
CONSTRUÇÃO CIVIL–INDUSTRIAL E URBANA

PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA • FUNDAÇÕES ESPECIAIS • CONSOLIDAÇÕES
OBRAS MARÍTIMAS E PORTUÁRIAS • PONTES E VIADUTOS • SILOS E CHAMINÉS
INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS

C. D. U. 624.072.32

ARCO PARABÓLICO SIMÉTRICO DE ESPESSURA VARIÁVEL $I_x \cos \varphi = I_o$

por Eng.º Civil J. S. BRASÃO FARINHA

RESUMO

Este artigo contém um formulário e tabelas para o cálculo do arco parabólico $I_x \cos \varphi = I_o$, nas hipóteses de articulação e encastramento nos dois apoios, e de articulação num deles e encastramento no outro. Exemplos de aplicação.

SYNOPSIS

This paper presents formulae and tables for the design of two-hinged, one-hinged and hingeless parabolic arches $I_x \cos \varphi = I_o$. Examples.

Na «Técnica» n.º 235 Outubro 1953 apresentámos o cálculo do arco parabólico de directriz $y = \frac{4fx}{l^2}(l-x)$ encastrado nas nascenças para a hipótese da espessura variável segundo a lei $I_x \cos \varphi = I_o$ sendo I_o o momento de inércia na secção do fecho do arco.

Vamos em seguida deduzir o formulário e apresentar tabelas de valores das reacções dos apoios para aquela hipótese de sustentação e também para o caso de articulações nos dois apoios e para articulação num deles e encastramento no outro apoio, considerando ainda a lei de variação $I_x \cos \varphi = I_o$. Em próximos artigos consideraremos outros tipos de arcos.

Para o arco articulado nos dois apoios basta considerar uma incógnita hiperestática, H_1. O momento M_{1-2} no apoio 1 será nulo e a componente vertical V_1 da reacção no mesmo apoio 1 igual à que corresponde ao arco com três articulações. A equação

$$\int_0^l \frac{V_1 x - H_1 y}{I} y\, ds = \int_0^l \frac{\mathfrak{M}}{I} y\, ds$$

resolve o problema.

Para o arco articulado em 1 e encastrado em 2 virá, fazendo $M_{1-2} = 0$ nas equações relativas ao arco encastrado em 1 e em 2,

$$\begin{cases} \displaystyle\int_0^l \frac{V_1 x - H_1 y}{I} y\, ds = \int_0^l \frac{\mathfrak{M}}{I} y\, ds \\ \displaystyle\int_0^l \frac{V_1 x - H_1 y}{I} x\, ds = \int_0^l \frac{\mathfrak{M}}{I} x\, ds \end{cases}$$

De acordo com o indicado na «Técnica» já referida, será

a) *Actuação da carga concentrada vertical P*

Na hipótese do arco articulado em 1 e em 2, $V_1 = \frac{Pb}{l}$, e vem

$$\frac{f l^2}{3} \frac{Pb}{l} - \frac{8 f^2}{15} H_1 = \frac{fP}{3 l^2} (l^4 + 2 a^3 l - a^4 - 2 a l^3)$$

$$H_1 = \frac{5 Pab}{8 f l^3} (l^2 + ab) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

No caso do arco articulado em 1 e encastrado em 2, vem o sistema de equações

$$\begin{cases} \dfrac{f\,l^2}{3}\,V_1 - \dfrac{8\,f^2\,l}{15}\,H_1 = \dfrac{f\,P}{3\,l^2}\,(l^4 + 2a^3\,l - a^4 - 2a\,l^3) \\[2ex] \dfrac{l^3}{3}\,V_1 - \dfrac{f\,l^2}{3}\,H_1 = \dfrac{P\,(l^3 - a^3)}{3} - \dfrac{Pa\,(l^2 - a^2)}{2} \end{cases}$$

donde se tira

$$\left.\begin{cases} H_1 = H_2 = \dfrac{5\,Pab^2}{6\,f\,l^3}\,(l + 2a)\ ;\ V_2 = \dfrac{Pa}{3\,l^4}\,(12a^2b + 6ab^2 + 2b^3 + 3a^3) \\[2ex] V_1 = \dfrac{P\,b^2}{3\,l^4}\,(12a^2 + 10ab + 3b^2)\ ;\ M_{2-1} = \dfrac{Pab}{3\,l^3}\,(3ab - 3a^2 + b^2) \end{cases}\right\} \qquad (1^*)$$

uma vez que $V_2 = P - V_1$; $M_{2-1} = V_1\,l - Pb$

b) *Actuação da carga concentrada horizontal P*

No caso do arco articulado em 1 e em 2, $V_1 = -V_2 = -\dfrac{4\,Pab}{l^3}\,f$, e vem

$$-5\,l\,\frac{4\,Pab}{l^3}\,f - 8\,f\,H_1 = \frac{8\,Pf}{l^5}\,b^3\,(b^2 - 5a^2) \text{ donde}$$

$$\left.\begin{aligned} H_1 &= -\frac{Pb}{2\,l^5}\,[5a^2\,l^2 + 5ab\,(a^2 + b^2) + 2b^4] \\ H_2 &= \frac{Pa}{2\,l^5}\,[5b^2\,l^2 + 5ab\,(a^2 + b^2) + 2a^4] \end{aligned}\right| \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Para a hipótese do arco articulado em 1 e encastrado em 2, vem o sistema

$$\begin{cases} 5\,l\,V_1 - 8\,f\,H_1 = \dfrac{8\,P\,f}{l^5}\,b^3\,(b^2 - 5a^2) \\[2ex] 2\,l\,V_1 - 2\,f\,H_1 = \dfrac{2\,P\,f}{l^4}\,b^2\,(b^2 - 6a^2 - 2ab) \end{cases}$$

$$\left.\begin{aligned} H_1 = P - H_2 &= -\frac{P\,b^2}{3\,l^5}\,[3\,b^3 + 5ab^2 + 30\,a^3] \\ V_1 = -V_2 &= -\frac{8\,Pab^2\,f}{3\,l^6}\,(b^2 + 6a^2 + 3ab) \\ M_{2-1} &= \frac{4\,Pabf}{3\,l^5}\,[b^3 + 3a^3 + 3ab^2 - 3a^2b] \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (2^*)$$

c) *Actuação da carga uniformemente distribuída vertical*

Para o arco articulado em 1 e 2,

$$V_1 = \frac{ga}{2l}\,(2\,l - a) \text{ e portanto}$$

$$5\,l\,\frac{ga}{2\,l}\,(2\,l - a) - 8\,f\,H_1 = \frac{ga}{2\,l^3}\,(10b^4 + 3a^4 + 15a^3\,b + 30ab^3 + 30a^2\,b^2)$$

$$H_3 = \frac{ga^2}{16\,f}\,(2a^3 + 10a^2\,b + 5b^3 + 15ab^2)$$

Cobrindo a carga o meio vão esquerdo, $a = b = \frac{l}{2}$

$$V_1 = \frac{3}{8}\, g\, l; \quad V_2 = \frac{1}{8}\, g\, l; \quad H_1 = \frac{g\, l^2}{16\, f} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Para a carga uniformemente distribuída sobre todo o vão, $a = l \quad b = o$

$$V_1 = V_2 = \frac{g\, l}{2}; \quad H_1 = \frac{g\, l^2}{8\, f} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3a)$$

Para o arco articulado em 1 e encastrado em 2,

$$\left\{ \begin{array}{l} 5\, l\, V_1 - 8\, f\, H_1 = \dfrac{g\, a}{2\, l^3}\,(10\, b^4 + 3\, a^4 + 15\, a^3 b + 30\, a b^3 + 30\, a^2 b^2) \\ 2\, l\, V_1 - 2\, f\, H_1 = \dfrac{g\, a}{4\, l^2}\,(3\, a^3 + 8\, b^3 + 18\, a b^2 + 12\, a^2 b) \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} H_1 = \dfrac{g a^2}{24 f l^3}\,[3a^3 + 10b^3 + 30ab^2 + 15a^2 b] \\ V_1 = \dfrac{g a}{12 l^4}\,[6a^4 + 44ab^3 + 60a^2 b^2 + 30a^3 b + 12b^4] \end{array} \right.$$

Cobrindo a carga o meio vão esquerdo

$$\left. \begin{array}{l} H_1 = H_2 = \dfrac{29}{384}\,\dfrac{g\, l^2}{f} \qquad V_1 = \dfrac{19}{48}\, g\, l; \qquad V_2 = \dfrac{5\, g\, l}{48} \\ M_{1-2} = o \qquad M_{2-1} = \dfrac{g\, l^2}{48} \end{array} \right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

e cobrindo todo o vão

$$H_1 = H_2 = \frac{g\, l^2}{8\, f}; \quad V_1 = V_2 = \frac{g\, l}{2}; \quad M_{1-2} = M_{2-1} = o \quad \ldots\ldots \quad (4^*)$$

donde se conclui que ocupando a carga o meio vão direito será

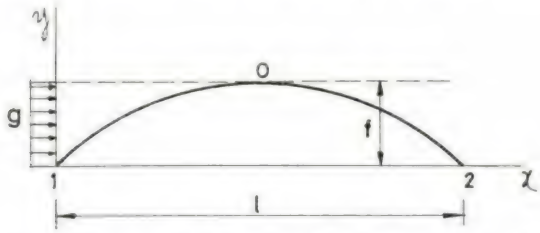


Fig. 1 – Actuação à esquerda, da carga horizontal uniformemente distribuída na flecha

$$\left. \begin{array}{l} H_1 = H_2 = \dfrac{g\, l^2}{8\, f} - \dfrac{29}{384}\,\dfrac{g\, l^2}{f} = \dfrac{17}{384}\,\dfrac{g\, l^2}{f} \\ V_1 = \dfrac{g\, l}{2} - \dfrac{19}{48}\, g\, l = \dfrac{5\, g\, l}{48} \\ V_2 = \dfrac{g\, l}{2} - \dfrac{5\, g\, l}{48} = \dfrac{19\, g\, l}{48} \\ M_{2-1} = o - \dfrac{g\, l^2}{48} = -\dfrac{g\, l^2}{48} \end{array} \right\} \quad (4^*a)$$

d) *Actuação de uma carga uniformemente distribuída horizontal g*

Esta hipótese de actuação de carga não foi considerada no artigo anterior.

Como é, com o sinal trocado, $\mathfrak{M} = \frac{g\, y^2}{2}$ para $x \leq l/2$ e $\mathfrak{M} = \frac{g\, f}{2}\,(2\, y - f)^2$ para $x > l/2$, resulta

$$\int_o^l \mathfrak{M}\, ds = \frac{g}{2} \int_o^{l/2} \frac{g\, y^2}{2}\, ds + \frac{g\, f}{2} \int_{l/2}^{l} (2\, y - f)\, ds = \frac{2\, g\, f^2}{l^4} \int_o^{l/2} (l x - x^2)^2\, dx +$$

$$+ \frac{4\, g\, f^2}{l^2} \int_{l/2}^{l} (l x - x^2)\, ds - \frac{g\, f^2}{2} \int_{l/2}^{l} ds = \frac{13\, g\, f^2\, l}{60}$$

Do mesmo modo,

$$\int_0^l \mathfrak{M}\, y\, ds = \frac{32\, g\, f^3}{l^6} \int_0^{l/2} (lx - x^2)^3\, dx + \frac{16\, g\, f^3}{l^4} \int_{l/2}^{l} (lx - x^2)^2 dx -$$

$$- \frac{2\, g\, f^3}{l^2} \int_{l/2}^{l} (lx - x^2)\, dx = \frac{3\, g\, f^3 l}{14}$$

$$\int_0 \mathfrak{M}\, x\, ds = \frac{8\, g\, f^2}{l^4} \int_0^{l/2} (lx - x^2)^2\, x\, dx + \frac{4\, g\, f^2}{l^2} \int_{l/2}^{l} (lx - x^2)\, x\, dx -$$

$$- \frac{g\, f^2}{2} \int_{l/2}^{l} x\, dx = \frac{7\, g\, f^2 l^2}{80}$$

Vem portanto para o arco encastrado em 1 e em 2, o sistema de equações

$$\left\{ \begin{array}{l} M_{1-2} + \dfrac{l^2}{2} V_1 - \dfrac{2\, f\, l}{3} H_1 = \dfrac{13\, g\, f^2 l}{60} \\ \dfrac{2\, l}{3} f M_{1-2} + \dfrac{f\, l^2}{3} V_1 - \dfrac{8\, f^2 l}{15} H_1 = \dfrac{3\, g\, f^3 l}{14} \\ \dfrac{l^2}{2} M_{1-2} + \dfrac{l^3}{3} V_1 - \dfrac{f\, l^2}{3} H_1 = \dfrac{7}{80}\, g\, f^2 l^2 \end{array} \right.$$

No caso do arco articulado em 1 e 2, $V_1 = -\dfrac{g\, f^2}{2\, l}$ e vem da 2.ª equação, fazendo $M_{1-2} = o$,

$$- \frac{g\, f^3 l}{6} - \frac{8\, f^2 l}{15} H_1 = \frac{3}{14}\, g\, f^3 l$$

$$\left. \begin{array}{l} H_1 = -\dfrac{5}{7}\, g\, f \\ H_2 = g\, f - \dfrac{5}{7}\, g\, f = \dfrac{2}{7}\, g\, f \\ V_1 = -V_2 = -\dfrac{g\, f^2}{2\, l} \end{array} \right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Para o arco articulado em 1 e encastrado em 2 as duas últimas equações, para $M_{1-2} = 0$, conduzem ao sistema

$$\left\{ \begin{array}{l} \dfrac{l}{3} V_1 - \dfrac{8}{15} f H_1 = \dfrac{3}{14}\, g\, f^2 \\ \dfrac{l}{3} V_1 - \dfrac{1}{3} f H_1 = \dfrac{7}{80}\, g\, f^2 \end{array} \right. \quad \text{donde} \quad \left. \begin{array}{l} H_1 = -\dfrac{71}{112}\, g\, f \\ H_2 = g\, f - \dfrac{71}{112}\, g\, f = \dfrac{41}{115}\, g\, f \\ V_1 = V_2 = -\dfrac{13}{35}\, \dfrac{g\, f^2}{l} \\ M_{1-2} = o\,; \quad M_{2-1} = \dfrac{9}{70}\, g\, f^2 \end{array} \right\} \quad \ldots\ldots \quad (5^*)$$

Finalmente para o arco encastrado o sistema de três equações atrás apresentadas dá os seguintes valores:

$$\left.\begin{aligned} V_1 = V_2 &= -\frac{g f^2}{4 l} \\ H_1 = -\frac{11}{14} g f &\ ;\ H_2 = \frac{3}{14} g f \\ M_{1-2} = -\frac{51}{280} g f^2 &\ ;\ M_{2-1} = \frac{19}{280} g f^2 \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (5^{**})$$

Na hipótese da carga actuar do lado direito será, anàlogamente, no caso do arco articulado em 1 e em 2

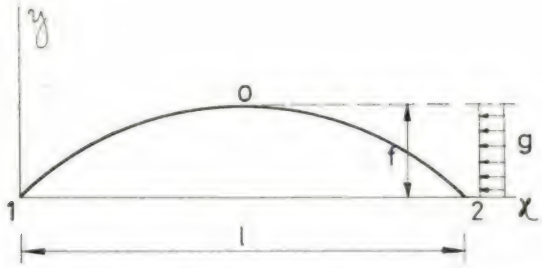


Fig. 2 — Actuação, à direita, da carga horizontal uniformemente distribuída na flecha

$$\left.\begin{aligned} V_1 = -V_2 &= \frac{g f^2}{2 l} \\ H_1 &= \frac{2}{7} g f \\ H_2 &= -\frac{5}{7} g f \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots (6)$$

Para o arco articulado em 1 e encastrado em 2

$$\left.\begin{aligned} H_1 = \frac{53}{336} g f &\quad ; \quad H_2 = -\frac{283}{336} g f \\ V_1 = -V_2 &= \frac{31}{105} \frac{g f^2}{l} \\ M_{1-2} = o &\quad ; \quad M_{2-1} = -\frac{43}{210} g f^2 \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (6^{*})$$

Finalmente, para o arco encastrado em 1 e em 2

$$\left.\begin{aligned} H_1 = \frac{3}{14} g f &\qquad H_2 = -\frac{11}{14} g f \\ V_1 = -V_2 &= \frac{g f^2}{3 l} \\ M_{1-2} = \frac{19}{280} g f^2 &\quad ; \quad M_{2-1} = -\frac{51}{280} g f^2 \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (6^{**})$$

e) *Actuação de momentos nos apoios do arco articulado*

Aplicando momentos M_{1-2} e M_{2-1} nos apoios do arco articulado em A e em B resulta da 2.ª equação, por ser $\mathfrak{M} = o$

$$\left.\begin{aligned} V_1 = -V_2 &= \frac{M_{2-1} - M_{1-2}}{l}, \\ H_1 &= \frac{5}{8 f} (M_{2-1} + M_{1-2}) \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

f) *Actuação do momento M_o no fecho*

Teremos $\mathfrak{M} = o$ à esquerda da secção do fecho e $\mathfrak{M} = -M_o$, com o sinal trocado, à direita deste. Será

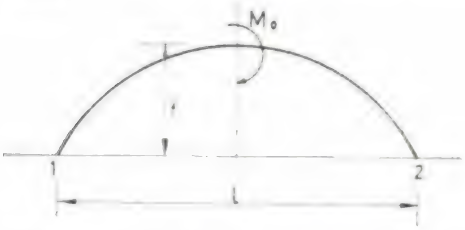


Fig. 3 — Actuação do momento M_o na secção do fecho

$$\int_{l/2}^{l} -M_o\, ds = -M_o \frac{l}{2}$$

$$\int_{l/2}^{l} -M_o\, y\, ds = -M_o \frac{f\,l}{3}$$

$$\int_{l/2}^{l} -M_o\, x\, ds = -M_o \frac{3l^2}{8}$$

No caso do arco bi — encastrado, o sistema resolvente será

$$\left\{\begin{array}{l} 6\,M_{1-2} + 3\,l\,V_1 - 4\,f\,H_1 = -3\,M_o \\ 10\,M_{1-2} + 5\,l\,V_1 - 8\,f\,H_1 = -5\,M_o \\ 3\,M_{1-2} + 2\,l\,V_1 - 2\,f\,H_1 = -\dfrac{9}{4}M_o \end{array}\right. \quad \left\{\begin{array}{l} V_1 = -\dfrac{3}{2l}M_o = -V_2 \\ H_1 = H_2 = 0 \\ M_{1-2} = -M_{2-1} = \dfrac{M_o}{4} \end{array}\right\} \qquad (8^{**})$$

No caso do arco bi — articulado, fazendo, na 2.ª equação $M_{1-2} = o$; $V_1 = -\dfrac{M_o}{l}$ deduzimos que

$$H_1 = o \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (8)$$

Para o arco articulado em 1 e encastrado em 2, teremos o sistema de equações

$$\left\{\begin{array}{l} 5\,l\,V_1 - 8\,f\,H_1 = -5\,M_o \\ 2\,l\,V_1 - 2\,f\,H_1 = -\dfrac{9}{4}M_o \end{array}\right. \quad \left\{\begin{array}{l} V_1 = -\dfrac{4}{3l}M_o = -V_2 \\ H_1 = H_2 = -\dfrac{5}{24\,f}M_o \\ M_{2-1} = V_1\,l + M_o = -\dfrac{M_o}{3} \end{array}\right\} \quad \ldots \quad (8^{*})$$

g) *Deslocação Δx de um apoio no sentido horizontal*

Para o arco articulado em 1 e 2, por ser $V_1 = 0$ vem

$$\frac{8\,f^2}{15}H_1 = -E\,I_o\,\Delta_x \text{ donde } H_1 = H_2 = -\frac{15\,E\,I_o}{8\,f^2\,l}\Delta_x \quad \ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

No caso do arco articulado em 1 e encastrado em 2,

$$\left\{\begin{array}{l} \dfrac{f\,l^2}{3}V_1 - \dfrac{8\,f^2\,l}{15}H_1 = E\,I_o\,\Delta_x \\ \dfrac{l^3}{3}V_1 - \dfrac{f\,l^2}{3}H_1 = o \end{array}\right. \quad \left.\begin{array}{l} V_1 = -V_2 = -\dfrac{5\,E\,Io}{f\,l^2}\Delta_x \\ H_1 = H_2 = -\dfrac{5\,E\,Io}{f^2\,l}\Delta_x \\ M_{1-2} = o \\ M_{2-1} = -5\dfrac{E\,Io}{f\,l}\Delta_x \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (9^{*})$$

h) *Deslocamento — Δ_y de um apoio no sentido vertical*

Para o arco bi-articulado, o deslocamento Δ_y não produz quaisquer esforços. Para o arco articulado em 1 e encastrado em 2,

$$\left\{\begin{array}{l} 5\,l\,V_1 - 8\,f\,H_2 = o \\ 2\,l\,V_1 - 2\,f\,H_2 = -\dfrac{6\,E\,Io}{l^2}\,\Delta_y \end{array}\right. \qquad \left.\begin{array}{l} V_1 = -V_2 = -\dfrac{8\,E\,Io}{l^3}\,\Delta_y \\ H_1 = -H_2 = -\dfrac{5\,E\,Io}{f\,l^2}\,\Delta_y \\ M_{1-2} = o \\ M_{2-1} = -8\,\dfrac{E\,Io}{l^2}\,\Delta_y \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots (10^*)$$

i) *Rigidez do arco articulado em 2 e encastrado em 1*

Partimos do arco encastrado em 2 a que se aplica em 1 um momento M_{1-2} que produz uma rotação $\theta = 1$ será

$$M_{1-2} = \frac{9\,E\,Io}{l} \qquad M_{2-1} = \frac{3\,E\,Io}{l}$$

Aplicamos depois a 2 um momento $-\dfrac{3\,E\,Io}{l}$ para anular M_{2-1} do que resulta o aparecimento em 1 do momento

$$M_{1-2} = \frac{9\,E\,Io}{l} - \frac{E\,Io}{l} = \frac{8\,E\,Io}{l} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10^*)$$

rigidez do arco em 1.

j) *Rigidez em casos de simetria*

Na prática do método de Cross, nos casos de simetria podemos entrar só com metade da estrutura, tornando para o meio arco uma rigidez fictícia K_v.

a) Quando a estrutura é simétrica e a carga também, em relacção ao mesmo eixo da simetria, e este cortar pelo meio o arco, tomar

$$K_v = K\,(1 - \eta) = \frac{4}{3}\,K = \frac{12\,E\,Io}{l}$$

b) Quando a estrutura é simétrica e a carga também, mas o eixo comum da simetria coincide com o eixo de uma barra, esta não está sujeita a flexão e pode considerar-se a metade da estrutura à esquerda desta barra, encastrada na secção da ligação do arco à barra em referência. Tomar para o arco

$$K_v = K = \frac{9\,E\,Io}{l}$$

c) Quando a estrutura é simétrica e a carga antissimétrica, em relacção ao mesmo eixo da simetria e este corta o arco pelo meio, tomar para o meio arco

$$K_v = K\,(1 + \eta) = \frac{2}{3}\,K = \frac{6\,E\,Io}{l}$$

Exemplos de aplicação

I — *Determinar os momentos flectores no arco indicado na figura 4 (*) para*

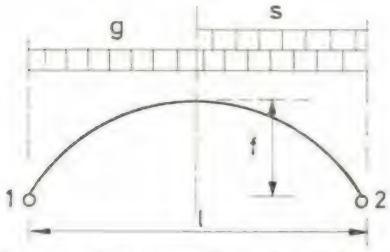


Fig. 4 — Hipótese de carga e de sustentação dos exemplos I e II

$f = 5{,}0 \quad l = 20{,}0 \quad f/l = 0{,}25$

$g = 10.000$ kg/m $\quad s = 5.000$ kg/m

Teremos

$$V_1 = (0{,}500 \times 10.000 + 0{,}125 \times 5.000) \times 20{,}0 = 112.500 \text{ kg}$$

$$V_2 = (0{,}500 \times 10.000 + 0{,}375 \times 5.000) \times 20{,}0 = 137.500 \text{ kg}$$

$$H_1 = H_2 = (0{,}500 \times 10.000 + 0{,}250 \times 5.000) \times 20{,}0 = 125.000 \text{ kg}$$

(*) — Para formulário geral sobre este tipo de arco cf. G. Magnel «Pratique du Calcul du Beton Árme» vol. 3.º, Gand 1930.

Em 10 secções equidistantes, teremos $M_x = M_{1-2} + V_1 x - H_1 y - \mathfrak{M}$

$$M_{1-2} = 0$$

$$M_{0,1l} = 112.500 \times 2,0 - 125.000 \times 1,8 - 10.000 \times \frac{2,0^2}{2} = -\ 20.000 \text{ kgm}$$

$$M_{0,2l} = 112.500 \times 4,0 - 125.000 \times 3,2 - 10.000 \times \frac{4,0^2}{2} = -\ 30.000 \text{ kgm}$$

$$M_{0,3l} = 112.500 \times 6,0 - 125.000 \times 4,2 - 10.000 \times \frac{4,0^2}{2} = -\ 30.000 \text{ kgm}$$

$$M_{0,4l} = 112.500 \times 8,0 - 125.000 \times 4,8 - 10.000 \times \frac{8,0^2}{2} = -\ 20.000 \text{ kgm}$$

$$M_{0,5l} = 112.500 \times 10,0 - 125.000 \times 5,0 - 10.000 \times \frac{10,0^2}{2} = 0$$

$$M_{0,6l} = 112.500 \times 12,0 - 125.000 \times 4,8 - 10.000 \times \frac{12,0^2}{2} - 5.000 \times \frac{2,0^2}{2} = +\ 20.000 \text{ kgm}$$

$$M_{0,7l} = 112.500 \times 14,0 - 125.000 \times 4,2 - 10.000 \times \frac{14,0^2}{2} - 5.000 \times \frac{4,0}{2} = +\ 30.000 \text{ kgm}$$

$$M_{0,8l} = 112.500 \times 16,0 - 125.000 \times 3,2 - 10.000 \times \frac{16,0^2}{2} - 5.000 \times \frac{6,0^2}{2} = +\ 30.000 \text{ kgm}$$

$$M_{0,9l} = 112.500 \times 18,0 - 125.000 \times 1,8 - 10.000 \times \frac{18,0^2}{2} - 5.000 \times \frac{8,0^2}{2} = +\ 20.000 \text{ kgm}$$

$$M_{2-1} = 0$$

Os momentos máximos negativo e positivo calculam-se como segue

Máximo negativo, $M_x = 112.500\,x - 125.000 \frac{x}{20} (20-x) - 10.000 \frac{x^2}{2} = -\ 12.500\,x + 1.250\,x^2$

$$\frac{dM}{dx} = o = -\ 12.500 + 2.500\,x \ ; \ x = \frac{12.500}{2.500} = 5,0 \text{ m}$$

$$M_{max.} = -\ 12.500 \times 5,0 + 1.250 \times 25.0 = -\ 31.250 \text{ kgm}$$

Máximo positivo, $M_x = -\ 12.500\,x + 1250\,x^2 - \frac{5000}{2} (x - 10,0)^2 = 37.500\,x - 1250\,x^2 - 250.000$

$$\frac{dM}{dx} = 37.500 - 2.500\,x \ ; \ x = \frac{37.500}{2.500} = 15,0 \text{ m}$$

$$M_{max.} = 37.500 \times 15,0 - 1.250 \times 15,0^2 - 250.000 = +\ 31.250 \text{ kgm}$$

Recordamos que estes momentos são apenas os devidos à sobrecarga em meio vão, porquanto a carga uniforme completa só produz esforços normais no arco parabólico (*).

II — *Determinar os esforços normais e transversos no arco do exemplo anterior*

Quanto aos esforços normais, em qualquer secção definida pela abcissa x será

$$N_x = (V_1 - gx) \text{ sen } \varphi + H_1 \cos \varphi$$

$N_{1-2} = 112.500 \times 0,707 + 125.000 \times 0,707 = 168.000$ kg

$N_{0,1l} = (112.500 - 2,0 \times 10.000) \times 0,624 + 125.000 \times 0,781 = 155.000$ kg

$N_{0,2l} = (112.500 - 4,0 \times 10.000) \times 0,514 + 125.000 \times 0,857 = 144.000$ kg

$N_{0,3l} = (112.500 - 6,0 \times 10.000) \times 0,371 + 125.000 \times 0,928 = 135.000$ kg

$N_{0,4l} = (112.500 - 8,0 \times 10.000) \times 0,196 + 125.000 \times 0,981 = 129.000$ kg

---

(*) — «Cálculo de arcos simétricos com três articulações» *Técnica* n.º 310, Março 1961.

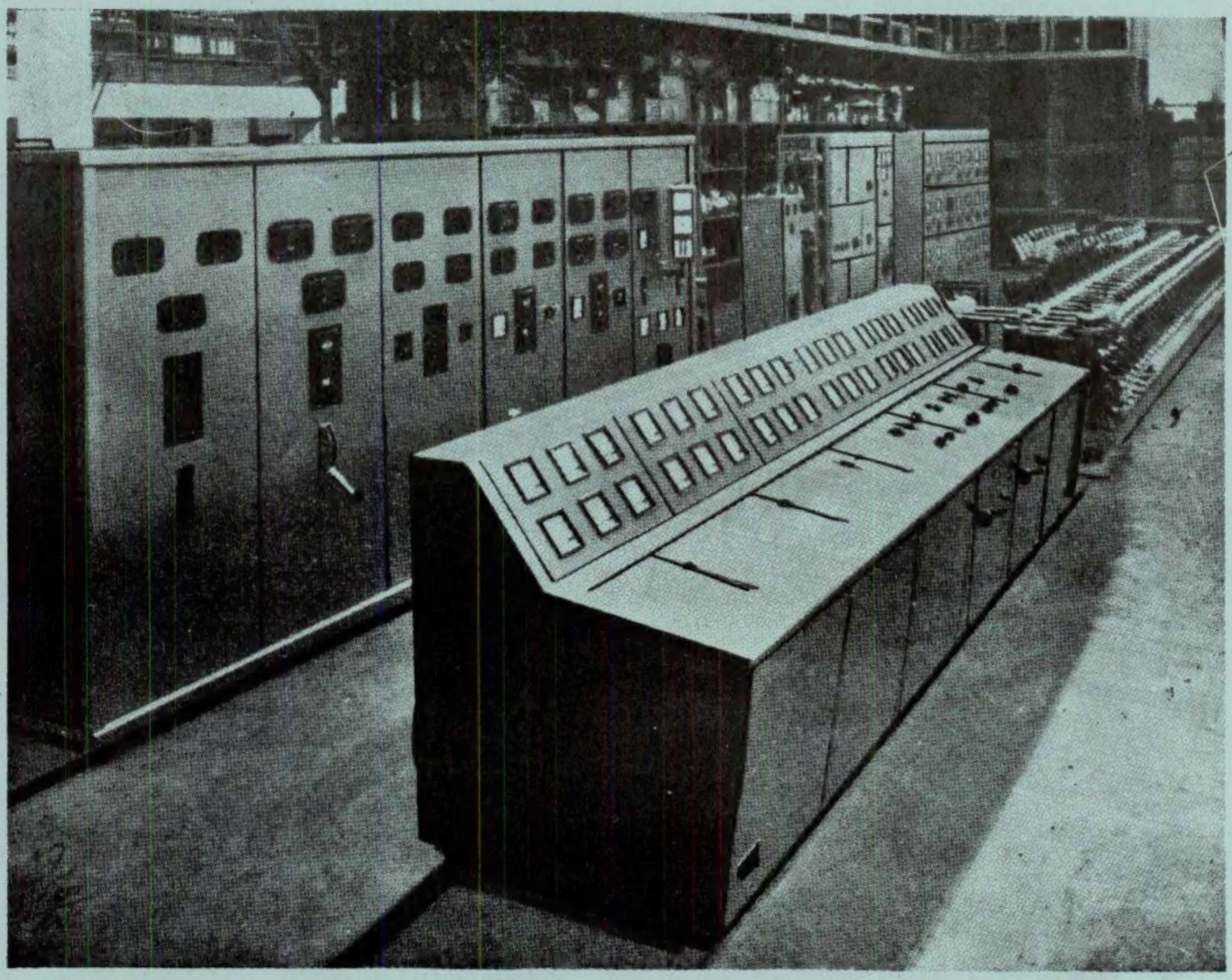
JAYME DA COSTA, L^DA

MECÂNICA E ELECTRICIDADE EM TODAS AS APLICAÇÕES

PORTO
Praça da Batalha, 12
Telef. 2 28 12 (PPC)

LISBOA
Rua dos Correeiros, 14
Telef. 32 70 35 (PPC)

LUANDA
Cx. Postal 5174
Telef. 4743

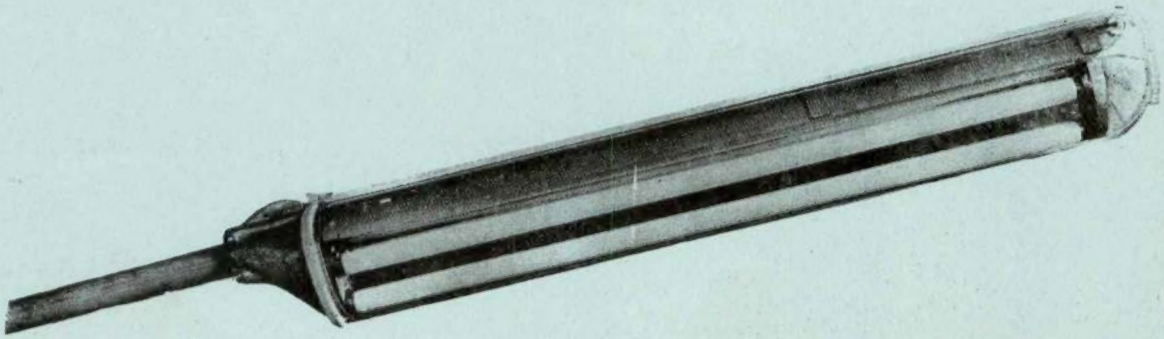


Material fabricado nas nossas oficinas, pronto para expedição

- Fabricação de aparelhagem eléctrica de alta e baixa tensão
- Equipamentos electromecânicos completos para centrais e fábricas
- Postos de transformação tipo monobloco
- Quadros blindados, capsulados e em armário
- Armaduras de iluminação de todos os tipos
- Contadores eléctricos e instrumentos de medida
- Telemedida e telecomando
- Instalações elevatórias de água
- Instalações de saneamento e esgotos
- Ferramentas de corte
- Motores Diesel industriais e marítimos
- Fogões eléctricos
- Frigoríficos
- Ventilação e condicionamento de ar
- Aparelhagem de Raios X e electromedicina

ARMADURA DE ILUMINAÇÃO

TIPO **GN**



1 — Armadura tipo GN para tubos fluorescentes, concebida para obter efeitos espectaculares.

2 — Lourenço Marques — Centro Cívico da Cidade.

CONSTRUÇÕES ELÉCTRICAS SCHRÉDER, LDA.

P. JOSÉ FONTANA, 25-3.º-ESQ. • TEL. 561001/2/3

$N_{0,5l} = (112.500 - 10,0 \times 10.000) \times 0,000 + 125.000 + 1,000 = 125.000$ kg

$N_{0,6l} = -(112.500 - 100.000 - 2,0 \times 15.000) \times 0,196 + 125.000 \times 0,981 = 126.000$ kg

$N_{0,7l} = -(112.500 - 100.000 - 4,0 \times 15.000) \times 0,371 + 125.000 \times 0,928 = 134.000$ kg

$N_{0,8l} = -(112.500 - 100.000 - 6,0 \times 15.000) \times 0,514 + 125.000 \times 0,857 = 147.000$ kg

$N_{0,9l} = -(112.500 - 100.000 - 8,0 \times 15.000) \times 0,624 + 125.000 \times 0,781 = 165.000$ kg

$N_{2-1} = -(112.500 - 100.000 - 10,0 \times 15.000) \times 0,707 + 125.000 \times 0,707 = 186.000$ kg

Para os esforços transversos, que são positivos quando provocam a subida da parte do arco à esquerda da secção, virá

$$T_x = (V_1 - gx) \cos\varphi - H_1 \operatorname{sen}\varphi$$

$T_{1-1} = 112.500 \times 0,707 - 125.000 \times 0,707 = -8840$ kg

$T_{0,1l} = (112.500 - 2,0 \times 10.000) \times 0,781 - 125.000 \times 0,614 = -5760$ kg

$T_{0,2l} = (112.500 - 4,0 \times 10.000) \times 0,857 - 125.000 \times 0,514 = -2100$ kg

$T_{0,3} = (112.500 - 6,0 \times 10.000) \times 0,928 - 125.000 \times 0,371 = +2350$ kg

$T_{0,4l} = (112.500 - 8,0 \times 10.000) \times 0,981 - 125.000 \times 0,196 = +7400$ kg

$T_{0,5l} = (112.500 - 10,0 \times 10.000) \times 1,000 - 125.000 \times 0,000 = +12500$ kg

$T_{0,6l} = (112.500 - 100.000 - 2,0 \times 15.000) \times 0,981 + 125.000 \times 0,196 = +7300$ kg

$T_{0,7l} = (112.500 - 100.000 - 4,0 \times 15.000) \times 0,928 + 125.000 \times 0,371 = +2300$ kg

$T_{0,8l} = (112.500 - 100.000 - 6,0 \times 15.000) \times 0,857 + 125.000 \times 0,514 = +2250$ kg

$T_{0,9l} = (112.500 - 100.000 - 8,0 \times 15.000) \times 0,781 + 125.000 \times 0,624 = +5960$ kg

$T_{2-1} = (112.500 - 100.000 - 10,0 \times 15.000) \times 0,707 + 125.000 \times 0,707 = +8840$ kg

III — *Calcular as reacções de apoio do arco contínuo de dois tramos indicado na figura 5, com articulações nas ligações aos três apoios* (*)

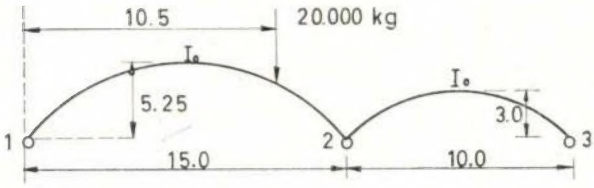


Fig. 5 — Hipóteses de carga e de sustentação do exemplo III

Trata-se de uma estrutura sem deslocamentos laterais dos nós, a resolver pelo método de Cross.

Para o arco esquerdo vem:

$f/l = 5,25/15,0 = 0,35 \quad a/l = 10,5/15,0 = 0,7$

Momento de encastramento perfeito em 2, no 1.º vão, de acordo com o quadro IV

$$M_{2-1} = -0,0525 \times 20.000 \times 15,0 = -15.750 \text{ kgm}$$

Rigidez $\dfrac{8\,E\,Io}{l_1} = \dfrac{8\,E\,Io}{15,0} = 0,533\,E\,Io$

Para o arco direito vem $f/l = 3/10,0 = 0,3$

Momento de encastramento perfeito em 2, no 2.º vão $M_{2-3} = 0$

Rigidez $\dfrac{8\,E\,Io}{l_2} = \dfrac{8\,E\,Io}{10,0} = 0,8\,E\,Io$

Coef. de distribuição $\dfrac{0,533}{0,8 + 0,533} = 0,4 \qquad \dfrac{0,8}{0,8 + 0,533} = 0,6$

(*) Para formulário correspondente às estruturas dos exemplos III, IV e V, cf. V. A. Morgan «An Exact Method of Analysis of Continuing Parabolic Arches», Concrete and Constructional Engineering, Novembro 1952.